

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)
РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ
АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»
ФОНД ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ «НАДЁЖНАЯ СМЕНА»
МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ РНК СИГРЭ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ТРИДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

29 февраля – 2 марта 2024 г.

МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



МОСКВА

НИУ «МЭИ»

2024

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:
P 154 Тридцатая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов
(29 февраля – 2 марта 2024 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр
полиграфических услуг „Радуга“», 2024. — 1342 с.

ISBN 978-5-907732-12-4

Помещенные в сборнике тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления современной радиотехники, электроники, информационных технологий, электротехники, электромеханики, электротехнологии, ядерной энергетики, теплофизики и электроэнергетики.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ISBN 978-5-907732-12-4



9 785907 732124 >

© Авторы, 2024

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2024

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Ректор НИУ «МЭИ» **Н. Д. Роголев** (председатель)
- Проректор НИУ «МЭИ» **В. К. Драгунов** (сопредседатель)
- Первый проректор НИУ «МЭИ» **В. Н. Замолодчиков** (сопредседатель)
- Проректор НИУ «МЭИ» **А. Е. Тарасов** (сопредседатель)
- Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Р. Р. Насыров** (сопредседатель, ответственный секретарь)
- Директор ИЭТЭ НИУ «МЭИ» **М. Я. Погребиский**
- Директор ИРЭ НИУ «МЭИ» **Р. С. Куликов**
- Директор ИТАЭ НИУ «МЭИ» **А. В. Дедов**
- Директор ИЭЭ НИУ «МЭИ» **В. Н. Тульский**
- Директор ИВТИ НИУ «МЭИ» **С. В. Вишняков**
- Директор ЭнМИ НИУ «МЭИ» **О. М. Митрохова**
- Директор ИЭВТ НИУ «МЭИ» **И. А. Щербатов**
- Директор ИнЭИ НИУ «МЭИ» **А. Ю. Невский**
- Директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ» **Т. А. Шестопалова**
- Зав. каф. ИЭиОТ НИУ «МЭИ» **О. Е. Кондратьева**
- Зав. каф. МЭП НИУ «МЭИ» **Н. Л. Кетоева**
- Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске **А. С. Федулов**
- Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжском **М. М. Султанов**
- Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе **С. А. Абдулкеримов**
- Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково (Энергетический колледж)
Н. И. Файрушин
- Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Толба Мохамед Али Хассан**
- Заведующий учебной лабораторией каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Л. В. Шавалиева**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Ректор НИУ «МЭИ» **Н. Д. Роголев** (председатель)
Проректор НИУ «МЭИ» **В. К. Драгунов** (сопредседатель)
Первый проректор НИУ «МЭИ» **В. Н. Замолодчиков** (сопредседатель)
Проректор НИУ «МЭИ» **А. Е. Тарасов** (сопредседатель)
Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Р. Р. Насыров** (сопредседатель, ответственный секретарь)
Директор ИЭТЭ НИУ «МЭИ» **М. Я. Погребиский**
Директор ИРЭ НИУ «МЭИ» **Р. С. Куликов**
Директор ИТАЭ НИУ «МЭИ» **А. В. Дедов**
Директор ИЭЭ НИУ «МЭИ» **В. Н. Тульский**
Директор ИВТИ НИУ «МЭИ» **С. В. Вишняков**
И.о. директора ЭнМИ НИУ «МЭИ» **О. М. Митрохова**
Директор ИЭВТ НИУ «МЭИ» **И. А. Щербатов**
Директор ИнЭИ НИУ «МЭИ» **А. Ю. Невский**
Директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ» **Т. А. Шестопалова**
Зав. каф. ИЭиОТ НИУ «МЭИ» **О. Е. Кондратьева**
Зав. каф. МЭП НИУ «МЭИ» **Н. Л. Кетоева**
Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске **А. С. Федулов**
Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжском **М. М. Султанов**
Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе **С. А. Абдулкеримов**
Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково (Энергетический колледж)
Н. И. Файрушин
Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Толба Мохамед Али Хассан**
Заведующий учебной лабораторией каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Л. В. Шавалиева**
Старший преподаватель каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **И. С. Анисимова**
Заведующий ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ», **А. О. Горбунова**
Ведущий программист ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ» **А. И. Смыслина**
Программист ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ» **Д. Р. Рогов**

Направление I

РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
Radio engineering and Electronics

Руководитель направления:

Директор института

радиотехники и электроники

им. В.А. Котельникова НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Куликов Роман Сергеевич

Секция 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

Theoretical basis of radio engineering

Председатель секции: к.т.н., доцент Шалимова Елена Владимировна

Секретарь секции: к.т.н., доцент Крутских Владислав Викторович

В.Д. Садовников, студ.;
рук. А.А. Деев, асп.; А.А. Кальщиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА ЭВМ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МОДУЛЕМ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (УМКИН)

УМКИН — устройство для обнаружения повреждений на поверхностях различного типа, способный работать в широком спектре. Для верификации и управления устройством реализовано программное обеспечение, использующее интерфейс Ethernet 1000Base-T. При разработке использовался язык программирования C# со средствами .NET и программные инструменты для визуализации временных диаграмм и спектров. Для передачи данных используется UDP-протокол, его максимальная длина кадра (~1500 байт) много меньше, чем длина сигнальных кодограмм, используемых в работе с УМКИН. Для решения этой проблемы в UDP-протокол был инкапсулирован пользовательский заголовок, состоящий из 4 байт в начале UDP payload (рисунок 1), который соответствует регистровой карте устройства УМКИН. На его основе производится фрагментация длинных кодограмм, а также обращение к модулям УМКИН: запрос данных с АЦП, формирование данных на ЦАП, управление подогревами, фильтрами и т.д.

Обмен данными происходит непосредственно с системой на кристалле, реализованной на ПЛИС, входящей в состав цифровой части УМКИН. Разработанный способ взаимодействия позволяет структурировать работу любых подобных систем за счёт объединения регистровых карт всех внутренних модулей в один заголовок.

Литература

1. Aleksander Malinowski, Bogdan M. Wilamowski User Datagram Protocol — UDP.

Д.А. Кулешов, Б. Курманкулов, К.С. Дедов, студенты; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК ДЕГАЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Современные системы теплоснабжения являются важной частью инфраструктуры города и выполняют задачи транспортировки горячей воды в здания. При этом перемещение воды по трубам сопровождается процессами кавитации, возникновения пузырьков кислорода, что негативно влияет на распространение воды по трубе и ухудшает надежность теплотрассы.

В настоящей работе обсуждается разработка беспроводного датчика [1] индикации в режиме реального времени процессов дегазации паро-газовой смеси в промышленных сетях теплотрасс. Разрабатываемое автономное устройство состоит из микроконтроллера на базе ESP32 и подключенных по I2C интерфейсу датчиков температуры и давления и OLED-дисплея. Предлагаемый датчик может быть соединен в сеть с другими беспроводными устройствами и отображает информацию о дегазации на MQTT-сервер [2].

В результате работы был разработан лабораторный стенд [3], имитирующий замкнутую систему теплоснабжения и включающий в себя беспроводной датчик дегазации, водяной насос, бойлер и счетчик воды. Разработанный комплекс имеет облачное управление.



Рис. 1. Беспроводной датчик контроля дегазации

по I2C интерфейсу датчиков температуры и давления и OLED-дисплея. Предлагаемый датчик может быть соединен в сеть с другими беспроводными устройствами и отображает информацию о дегазации на MQTT-сервер [2].

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.
3. **Strelkov N.O., Krutskikh V.V., Shalimova E.V.** Programming STM32 Nucleo Platform for IoT Education Using STM32duino and Mbed OS // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2022. — С. 1–6.

А.А. Макарова, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЛАЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ



Рис. 1. Система контроля освещения в помещении

в помещении [1]. Структура разрабатываемого устройства опирается на принципы и методики систем мониторинга в режиме реального времени и представляет собой центральный микроконтроллер с встроенным Wi-fi модулем [2], управляемый источник освещения и системы датчиков показателей освещенности в помещении, работающих в древовидной сети по принципу устройств LoraWAN класса A [3].

В результате работы был проведен анализ существующих систем освещения и разработан прототип системы интернета вещей для дистанционного мониторинга и контроля качества освещения в помещении. Разработанный комплекс обладает несколькими режимами работы, использующими различную яркость и световую температуру ламп в помещении.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.
3. **Strelkov N.O., Krutskikh V.V., Shalimova E.V.** Programming STM32 Nucleo Platform for IoT Education Using STM32duino and Mbed OS // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2022. — С. 1–6.

*О.А. Неклюдова, К.М. Набатова, П.Ю. Гречкина, студенты;
А.Н. Ушков, асп.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК ДЫХАНИЯ

Современные радиотехнические устройства связи и сбора данных активно развиваются, что расширяет возможность их применения в системах интернета вещей [1]. Так для решения задач мониторинга качества здоровья человека важным показателем является анализ дыхания. Наблюдение за дыханием человека, особенно во время болезни, позволяет отследить этапы лечения и восстановления, выработать новые методики лечения и принимать правильные решения за счет анализа динамики измеряемых данных.

В настоящей работе обсуждаются возможности разработки беспроводного датчика для мониторинга дыхания человека и методики обработки сигнала с целью выделения информационной составляющей. Разрабатываемый автономный датчик [2] опирается на измерение акустических колебаний при помощи микрофона. Переданный при помощи Bluetooth модуля сигнал обрабатывается на ПК и выводит информацию о состоянии человека в режиме реального времени .

В результате работы был проведен анализ существующих датчиков мониторинга и диагностики дыхания и разработан прототип автономного беспроводного датчика дыхания человека.

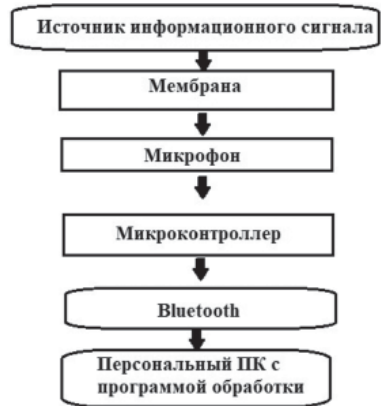


Рис. 1. Беспроводной датчик дыхания

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.

А.Н. Ушков, асп.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА БАЗЕ ПЭДВ И ПЭДР

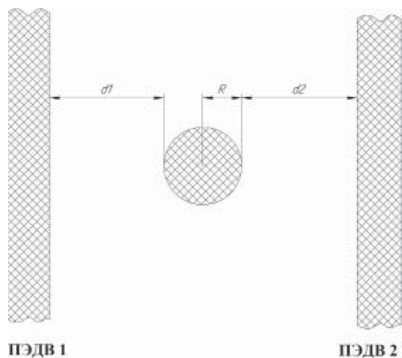


Рис. 1. Модель полосового фильтра на базе системы ПЭДВ и ПЭДР

Активное развитие систем связи 5-ого поколения ведет за собой повышение требований к пропускной способности применяемых функциональных узлов, а также ставит задачи разработки новых технологических решений узлов КВЧ диапазона. Использование металлодиэлектрических волноводных устройств является актуальным направлением за счет простоты изготовления систем, а также высоких показателей качества. Направление разработки избирательных малогабаритных устройств для задач связи и радиолокации не новое, но является перспективным].

В настоящей работе обсуждается анализ модели цифрового двойника полосового фильтра на базе полужэранированных волноводов (ПЭДВ) и дискового полужэранированного диэлектрического резонатора (ПЭДР), работающего в режиме высших азимутальных колебаний «шепчущей галереи» [2]. Проведены анализ распределения электромагнитного поля в конструкции фильтра и сравнение S-параметров цифрового двойника и физического макета. Экспериментальная проверка осуществлялась при помощи измерителя КСВН Р-2-65. В качестве габаритных размеров волновода был выбран ПЭДВ-8, соответствующий частотному диапазону проводимых экспериментальных исследований.

В результате работы была проведена оценка параметров цифрового двойника, исследован вопрос фазовой зависимости избирательного узла для настройки добротности фильтра на резонансной частоте.

Литература

1. **Взятыхшев В.Ф. и др.** Дифракционные Устройства и Системы КВЧ и СВЧ-диапазонов на базе диэлектрических структур: принципы построения, волновая элементная база, ключевые явления // Известия вузов. Физика. — 2012. — Т. 55. — №. 8-3. — С. 32–38.
2. **Ильченко М.Е., и др.** Диэлектрические резонаторы / Под ред. М.Е. Ильченко. — М.: Радио и связь, 1989.

*А.М. Игнатов, студ.; А.Н. Ушков, И.М. Беспалов, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕЖЕКТОРНЫЙ ФИЛЬТР НА ПЭДВ С ПЭДР

Разработка современных функциональных узлов для устройств радиолокации и связи является важным направлением отечественной радиоэлектроники, где отдельное внимание стоит уделить избирательным системам или фильтрам. В настоящее время в КВЧ диапазоне особый интерес представляют конструкции, выполненные на базе полукранированных диэлектрических волноводах (ПЭДВ) и резонаторах (ПЭДР). Ключевым достоинством металлодиэлектрических систем является простота изготовления, стоимость производства, а также низкие потери при высокой пропускной способности диэлектрического материала [1].

В настоящей работе исследуются характеристики цифрового двойника режекторного фильтра, выполненного на базе полукранированного диэлектрического волновода и дискового полукранированного диэлектрического резонатора, работающего в режиме высоких азимутальных колебаний типа «шепчущей галереи» [2]. Отдельное внимание в работе уделено оценке связи между резонатором и волноводом, а также исследованы зависимости влияния связи на показатели качества режекторного фильтра.

В результате работы была проведен численный [3] и физический эксперимент конструкции режекторного фильтра. Полученные S-параметры узла показали адекватность предложенного цифрового двойника.

Литература

1. **Крутских В.В., Взятых В.Ф.** Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. **Егоров В.Н.** Микроволновые диэлектрические резонаторы в физических измерениях: Дисс. на соиск. уч. ст. докт. ф-м. наук. Иркутск: ФГУП «ВНИИФТРИ» Восточно-Сибирский филиал, 2013.
3. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

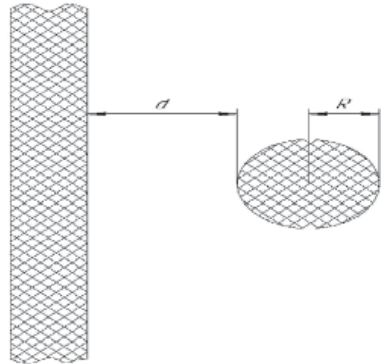


Рис. 1. Конструкция режекторного фильтра на базе ПЭДВ и ПЭДР

*А.Ю. Попов, А.А. Фролов, М.Д. Матвеев, А.С. Оганнисян, студенты;
А.Н Ушков, асп.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЗЛОВЫМ КРАНОМ

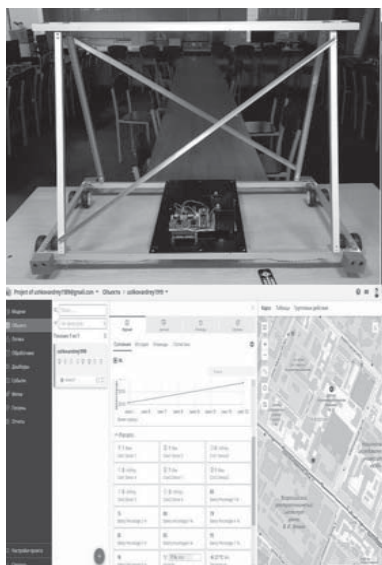


Рис. 1. Система дистанционного управления краном

танционного управления краном при помощи мобильного приложения [4]. Разработанный комплекс позволяет контролировать положение грузоподъемной тележки и контролировать скорость движения крана, не допуская резкого торможения, что повышает устойчивость крана.

В современном мире логистике и транспортировке грузов отводится значительное и важное внимание, поэтому автоматизация процессов сортировки и перемещения грузов является важной задачей [1]. Одним из направлений является дистанционное управление козловыми кранами на сортировочных станциях[2].

В настоящей работе предложен анализ преимуществ и недостатков систем дистанционного управления козловым краном, а также предложены решения по автоматизации [3]. Структура разработанной системы интернета вещей состоит из центрального исполнительного модуля на базе микроконтроллера ESP-32 с встроенным Wi-fi модулем, коллекторных двигателей, осуществляющих движение макета крана, а также шагового двигателя, выполняющего перемещение грузоподъемной тележки.

В результате работы был сконструирован макет козлового крана и системы дистанционного управления краном

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.
3. **Благодаров Д.А. и др.** Управление электроприводами контейнерного крана // ББК 1 А28. — 2023.
4. **Росляков А.В., Ваяшин С.В., Гребешков А.Ю.** Интернет вещей. — 2015.

А.А. Макарова, Б. Курманкулов, студенты; А.Н. Ушков асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ ОТ СТОЛКНОВЕНИЙ

Для решения автоматизации транспортировки контейнерных грузов на сортировочных станциях и в портовых зонах, а также в сталелитейной промышленности активно применяются системы козловых кранов,двигающихся по одним рельсовым путям на высокой скорости. При этом возникает необходимость защиты кранов от столкновения друг с другом и с препятствиями, оказавшимися на пути крана.

В настоящей работе продолжается исследование [2] преимуществ и недостатков современных устройств защиты козловых кранов от столкновений при условиях отличных от нормы влажности и температуры, а также в условиях наличия тумана и/или наличия пыли на самом датчике. В работе проведено сравнение лазерных, ультразвуковых и микроволновых дальнометрических датчиков [3] в описанных выше условиях и предложены рекомендации их использования.

В результате работы были разработаны рекомендации по использованию всех типов дальнометрических датчиков. Ультразвуковой дальнометр показал хорошие характеристики в условиях корректировки скорости света в условиях минимизации воздействия пыли. Микроволновый датчик представляет наибольший интерес за счет радиолокационного принципа работы, высокой точности измерений и устойчивости к внешним воздействиям.

Литература

1. **Благодаров Д.А. и др.** Управление Электроприводами Контейнерного Крана // ББК 1 А28. — 2023.
2. **Ушков А.Н., Каплинский А.В., Завитаев Д.О.** Автоматизированная Ультразвуковая Система Противосближения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. — 2023. — С. 19–19.
3. **Серов С.А. и др.** Особенности Применения Радара AWR1642 // Universum: технические науки. — 2021. — №. 1-1 (82). — С. 57–66.

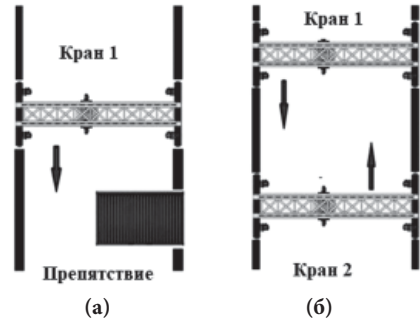


Рис. 1. Препятствия на пути движения крана: (а) — препятствие; (б) — второй кран

Р. Г. Рязанцев, Н. В. Морозов, С. А. Тимохин, Р. А. Кон, Е. Л. Епифанов, студенты; А. Н. Ушков, асп.; рук. В. В. Крутских, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ОБЛАЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ

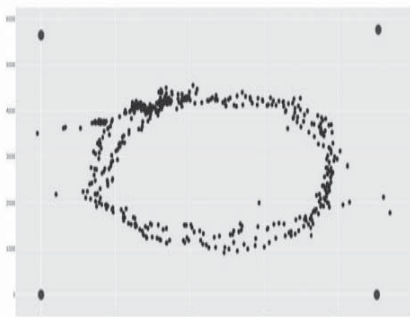


Рис. 1. Траектория движения роботизированной платформы

В настоящее время активно разрабатываются роботизированные платформы, выполняющие широкий спектр задач, связанных с автоматизацией технологических промышленных процессов и повышением безопасности на производстве. Опираясь на концепцию систем Индустрии 4.0, разрабатываемые устройства должны выполнять свои функциональные возможности без вмешательства человека в систему [1].

В настоящей работе обсуждаются возможности облачного управления роботизированной платформой по принципу концепции интернета вещей с опорой на радионавигацию в помещении. Для определения траектории движения роботизированной платформы в работе произведен анализ при помощи дальномерного, псевдо-дальномерного [2] и разностно-дальномерного методов [3].

В результате работы был разработан прототип системы облачного управления роботизированной платформой при помощи мобильного приложения, опираясь на принципы радионавигации. Разработанный комплекс снабжен системой защиты от столкновений и камерой для определения объектов и сканирования пространства на пути движения роботизированной платформы.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Чугунов А.А. и др.** Алгоритм оценки параметров траекторий источников радиоизлучения в многопозиционных пассивных радиолокационных комплексах // Радиолокация, навигация, связь. — 2022. — С. 361–370.
3. **Петухов Н.И. и др.** Применение генетического алгоритма для определения мест размещения опорных точек локальной навигационной системы и минимизации их числа // Радиотехника. — 2021. — Т. 85. — №. 9. — С. 27–40.

О.А. Глуздова, А.Е. Называев, П.А. Марков, студенты; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАДИОЧАСТОТНЫЙ УДЛИНИТЕЛЬ ШИНЫ I2C ИНТЕРФЕЙСА

Развитие средств автоматизации технологических процессов на производстве непосредственно связано с устройством систем сбора данных. Устройства периферии передают информацию, используя определенные интерфейсы передачи данных, которые в настоящее время представляют собой проводные соединения [1]. Использование беспроводного удлинителя шины заданного интерфейса является возможностью расширения дальности действия систем автоматизации, построенных на базе концепции устройств промышленного интернета вещей [2].

В настоящей работе рассматривается разработка удлинителя шины заданного интерфейса при помощи радиочастотного канала связи, работающего в диапазоне частот от 2,4 ГГц до 2,5 ГГц. Разработанная структурная схема устройства представляет собой удлинитель I2C интерфейса, состоящего из двух идентичных частей, передающих информацию при помощи дуплексной связи. Передаваемый информационный сигнал обрабатывается при помощи кодирования и шифрования, что повышает надежность данных и снижает вероятность битовой ошибки системы.

В результате работы была проведена оценка дальности работы радиочастотного удлинителя данных, а также проведена оценка корректности передачи данных в макете радиочастотного удлинителя заданного интерфейса.

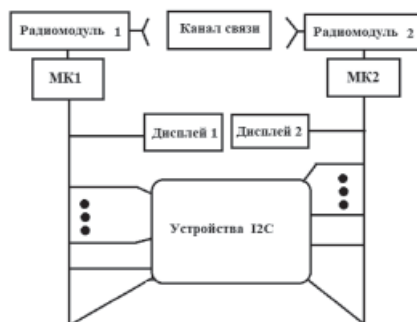


Рис. 1. Структурная схема радиочастотного удлинителя шины I2C интерфейса

Литература

1. Ushkov A.N. et al. Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. Strelkov N.O., Mikhailov M.S. Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.

*А.М. Игнатов, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ФЕРРИТОВОГО ЦИРКУЛЯТОРА В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ САПР

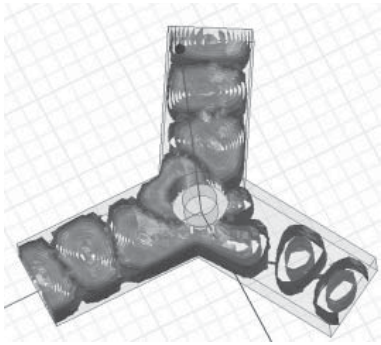


Рис. 1. Моделирование ферритового циркулятора

В современной СВЧ технике одним из методов разработки и анализов волновых процессов является проектирование цифровых двойников функциональных узлов. Наиболее острой стоит задача разработки узлов направленной канализации на ферритовых элементах. Ферритовые циркуляторы являются ключевыми компонентами радиолокационных систем за счет энергетической развязки электромагнитных волн [1]. Параметры циркулятора в наибольшей степени связаны со свойствами и характеристиками ферритового материала, поэтому существует актуальная задача построения цифровых двойников с ферритовыми элементами.

В настоящей работе представлен анализ результатов сконструированных моделей ферритового циркулятора, работающего на 10 ГГц в различных пакетах электродинамического моделирования [2]. В результате численного эксперимента получены картины электромагнитных полей, проанализированы S параметры двойника для различного частотного диапазона и разных значений подмагничивания феррита.

В рамках проведенного исследования выполнено создание численной модели ферритового циркулятора с заданными габаритными размерами в различных САПР [3], проведено сравнение численных и экспериментальных данных характеристик узла, что подтверждает адекватность предложенных моделей.

Литература

1. **Крутских В.В., Взятыхшев В.Ф.** Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Significant Irregularities in the NRD Waveguide // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2022. — С. 1–5.
3. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

*А.М. Игнатов, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ФЕРРИТОВЫЙ ЦИРКУЛЯТОР МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА БАЗЕ ПЭДВ

Развитие современной СВЧ-техники напрямую связано с исследованием свойств ферритовых и диэлектрических материалов и их взаимодействия в различных конструкциях канализации электромагнитной волны. Перспективным направлением является проектирование функциональных узлов на базе полужкранированных диэлектрических волноводов (ПЭДВ), которые эффективны в КВЧ диапазоне. При этом для описания принципов волновых процессов устройств особое внимание необходимо уделить построению цифровых моделей с ферритовыми включениями и их сравнением с физическим экспериментом [1].

В настоящей работе предложен анализ результатов сравнения численного и физического экспериментов ферритового циркулятора на базе ПЭДВ [2]. Проведено сравнение измеренных на макете циркулятора S-параметров с результатами численного моделирования электромагнитных полей. Численный эксперимент проведен с помощью метода конечных разностей [3]. Отталкиваясь от сходства характеристик цифрового двойника и макета устройства, были проанализированы электродинамические явления, наблюдаемые при протекании электромагнитной волны.

В результате работы была проведена оптимизация конструкции ферритового циркулятора при помощи цифрового двойника, параметры которого показали адекватность предложенного электродинамического описания конструкции и процессов в ней.

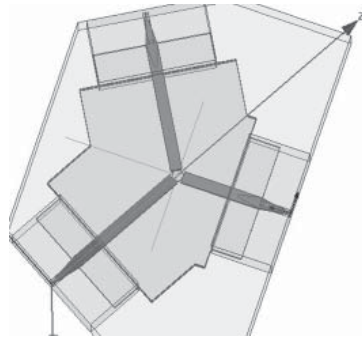


Рис. 1. Цифровой двойник циркулятора на ПЭДВ

Литература

1. **Крутских В.В., Взятыхшев В.Ф.** Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Significant Irregularities in the NRD Waveguide // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2022. — С. 1–5.
3. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

А.М. Игнатов, студ.; А.Н. Ушков, Х. Арикат, аспиранты;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛУЭКРАНИРОВАННЫЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОД С ГИРОТРОПНЫМ СТЕРЖНЕМ

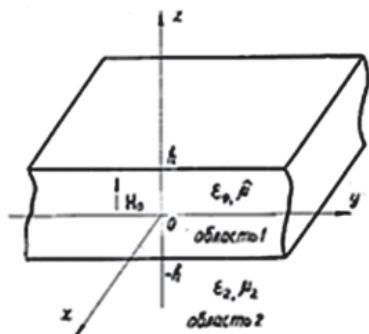


Рис. 1. Конструкция планарного ПЭДВ с гиротропным стержнем

характеристики полуэкранированного волновода с гиротропным диэлектрическим стержнем. Выявлены закономерности распространения электромагнитных полей в конструкции регулярной линии на полуэкранированном диэлектрическом волноводе, полученные при помощи цифровых двойников.

В рамках проведенного исследования были оценены электродинамические характеристики гиротропного волновода и создан список рекомендаций применения гиротропных включений в устройствах канализации миллиметрового диапазона.

Литература

1. Крутских В.В., Взятых В.Ф. Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. Krutskikh V.V. et al. Significant Irregularities in the NRD Waveguide // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2022. — С. 1–5.
3. Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

*А.С. Леонтьева, Д.С. Сланчев, А.И. Шпагин, студенты;
А.Н. Ушков, асп; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЗАЩИЩЕННЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЛАГОПОЛУЧИЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ЗДОРОВЬЯ

Современные ветеринарные клиники сталкиваются с рядом задач, связанных с уходом за домашними животными. Важными аспектами являются контроль здоровья, обеспечение комфорта животных и соблюдение медицинских рекомендаций. Для улучшения уровня благополучия животных и обеспечения качественного медицинского наблюдения и лечения целесообразно использовать инновационные решения на основе интернета вещей.

Настоящая работа описывает преимущества и недостатки системы мониторинга состояния домашних животных. Беспроводные технологии лежат в основе разработанной системы контроля за здоровьем и состоянием питомца [1]. Предлагаемая система построена на сетевой топологии «звезда» и включает в себя ряд устройств, передающих информацию по радиоканалам в близи центральной частоты 2,4 ГГц. Информационные сигналы передаются на блок локальной индикации, в виде дисплея, и в облачный сервис на web-сервер [2]. Для защищенности передаваемых данных в работе рассмотрены и реализованы различные виды кодирования.

В результате был разработан прототип системы мониторинга и ухода за животными в лечебных клиниках и проанализированы методики защиты передачи данных.

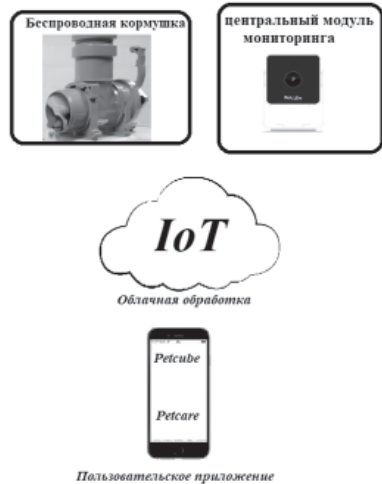


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга за животными

Литература

1. **Mikhailov M.S., Strelkov N.O.** Application of wi-fi and lora technologies for wireless measurement of physical quantities // 2019 international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering (REEPE). — IEEE, 2019. — С. 1–4.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.

А.М. Чепарин, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. А.И. Черников, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ПТИЦ ВБЛИЗИ АЭРОДРОМОВ



Рис. 1. Система интернета вещей для обнаружения птиц

деление расстояния до цели происходит при помощи разностно-дальномерного метода [2].

В результате был разработан прототип системы интернета вещей для обнаружения препятствий. Используемые алгоритмы позволяют отслеживать движение цели, прогнозировать и корректировать траекторию движения птиц. Разработанный комплекс передает информацию с трех локаторов на облачный ресурс и выводит информацию о наличии цели на мобильное приложение пользователя.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. **Strelkov N.O., Mikhailov M.S.** Smart wireless sensor system for monitoring the parameters of the evaporation duct // 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2018. — С. 1–4.
3. **Strelkov N.O., Krutskikh V.V., Shalimova E.V.** Programming STM32 Nucleo Platform for IoT Education Using STM32duino and Mbed OS // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2022. — С. 1–6.

*М.С. Соколова, студ.;
рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф. (ПГТУ, Йошкар-Ола)*

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ИНВЕРСНОГО ФИЛЬТРА

Линейный нестационарный фильтр — это система обработки сигналов, которая обладает свойством изменения своих характеристик в зависимости от времени. Это означает, что характеристики фильтра могут изменяться по мере поступления новых данных на вход системы. Линейный нестационарный фильтр может быть использован для решения различных задач обработки сигналов, таких как фильтрация, сжатие, разделение сигналов, и т.д. Он может быть полезен также, когда требуется адаптивная обработка сигнала.

Инверсная фильтрация — это процесс фильтрации сигнала в обратном направлении. Она используется для удаления шумов из сигнала, выделения определённых частот или изменения его характеристик. Инверсная фильтрация сигналов обеспечивает на выходе отклик в виде дельта-импульса (без боковых лепестков), что позволяет использовать её для решения задачи разрешения сигналов, в том числе и простых [1].

Если в спектре сигнала содержится равная нулю компонента, то при вычислении частотной характеристики инверсного фильтра возникает неопределённость типа “деление на ноль”. Расчет импульсной характеристики производится путем коррекции базиса с использованием методов аналитической геометрии. Сущность метода заключается в изменении одной из компонент одной из базисных функций [1].

В данной работе рассмотрен подход к расчету характеристик линейного нестационарного инверсного фильтра при условии, когда спектр сигнала содержит равную нулю компоненту.

Литература

1. Хафизов Р.Г., Григорьевых Е.А., Пахмутова Е.С., Соколова М.С., Масликов А.М. Применение метода коррекции базиса для устранения неопределённости при синтезе инверсного фильтра. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. № 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.12.6> (In Russian)

*О.А. Хамарицкая, студ.;
рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф. (ПГТУ, Йошкар-Ола)*

ЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ КАК ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛА В КОСОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Линейная фильтрация сигналов является основой обработки во многих системах, включая системы связи, обработки изображений и аудиосигналов, управления и др. Процесс линейной фильтрации может быть представлен как разложение сигнала в косоугольной системе координат.

Разложение вектора X по выбранному базису в общем случае имеет вид

$$X = \sum_{n=1}^k x_n e_n = x_1 e_1 + x_2 e_2 + \dots + x_k e_k, \quad (1)$$

где x_n — координаты вектора X в базисе, а e_n — базисные векторы.

Если выбрать векторы $\{e_n\}_{1,k}$ в качестве базиса, которые имеют произвольную длину и направление, то получим косоугольную систему координат, в которой нет ортогональности. Косоугольный базис, используемый для анализа сигналов, связан с сигналом, а не с системой стандартных функций. Фильтрация сигнала включает нахождение мер близости сигнального вектора к каждому из векторов косоугольного базиса в виде проекции сигнала X на вектор e_n .

Рассмотрен пример фильтрации сигнала с использованием косоугольного базиса. Исходный дискретный сигнал U_n представлен в виде вектора S в косоугольном базисе h . Зададим частотную характеристику низкочастотного фильтра как K_m и преобразуем в импульсную с помощью ОПФ.

В процессе такой фильтрации мы определяем координаты и проекции исходного сигнала на базисные векторы косоугольной системы координат. Эти проекции представляют собой результат применения низкочастотного фильтра к сигналу, с учетом величин базисных векторов.

Литература

1. **Р.Г. Хафизов, Е.А. Григорьевых, Е.С. Пахмутова, М.С. Соколова, А.М. Масликов.** Применение метода коррекции базиса для устранения неопределенности при синтезе инверсного фильтра // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 12.
2. **Р.Г. Хафизов, А.А. Роженцов, Д.Г. Хафизов, С.А. Охотников.** Основы теории обработки непрерывных контуров изображений. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015.

М.Р. Цымбал, студ.;
рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОЙ НАВИГАЦИИ

Одним из основополагающих подходов при разработке радиотехнической системы является модельно-ориентированное проектирование (МОП), суть которого состоит в том, что модель используется на протяжении всего жизненного цикла изделия. Подобная модель включает в себя все компоненты, относящиеся к поведению системы: алгоритмы, логику управления, физическое поведения и многое другое. Методология МОП является первым шагом к проектированию цифрового двойника реальной радиотехнической системы [1].

В докладе излагаются принципы разработки приемо-передатчиков для систем наземной навигации по методологии МОП (рис. 1). Данная модель позволяет осуществить передачу, прием и обработку сообщений между опорной станцией и объектом. В модели описываются способы передачи сообщений, различение объектом опорных станций, алгоритмы поиска станций с приемлемым уровнем сигнала.

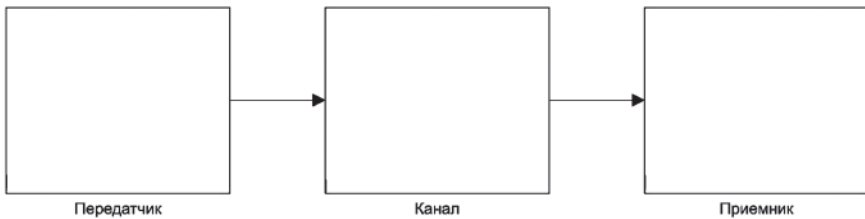


Рис. 1. Структурная схема приемника и передатчика с каналом связи

Для модели системы наземной навигации был разработан физический и протокольный уровень базовой станции (БС) и радиостанции (РС), основанные на стандарте цифровой связи DMR.

Модель содержит протокольный уровень БС, следом идет блок кодирования сообщений, передатчик, канал связи, приемник, блок декодирования и протокольный уровень РС [2]. Структурная схема приемника состоит из демодулятора, фильтра приподнятого косинуса, блока символьной синхронизации, 4-FSK демодулятора, блока поиска преамбулы и задержки.

Литература

1. Д.А. Балакин, Е.В. Керский. Разработка цифрового двойника радиолокационной станции дальнего обнаружения. Вестник Концерна ВКО «Алмаз — Антей». 2020;(1):10–18.
2. **Электронный ресурс:** <https://www.etsi.org>

*А.Н. Ушков, асп. (НИУ «МЭИ»);
А.В. Павлов, А.Д. Шульженко, студенты (Московский политех);
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ НА SIW-ВОЛНОВОДЕ

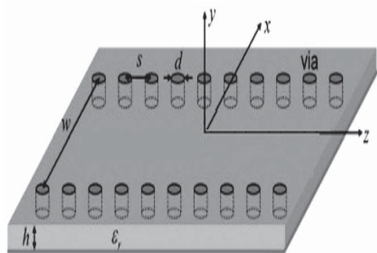


Рис. 1. Конструкция SIW-волновода

В настоящей работе обсуждаются возможности исследования характеристик узлов канализации электромагнитных волн КВЧ диапазона на основе цифровых двойников. Исследованы распределения полей в SIW-волноводе [2], S-параметры узла регулярной линии передачи при различных параметрах штырей, расстояния между штырями и различными диэлектрическими материалами, заполняющими расстояние между пластин.

В результате работы был разработан цифровой прототип линии передачи на базе SIW-волновода. Полученные характеристики позволяют подобрать нехудшие массогабаритные характеристики базового узла, который может быть использован для проектирования сложных функциональных узлов [3].

Литература

1. **Krutskikh V.V. et al.** Significant Irregularities in the NRD Waveguide // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2022. — С. 1–5.
2. **Крутских В.В. и др.** Металлодиэлектрический экранированный волновод с малыми потерями для диапазона частот 90-100 ГГц // Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей. — 2021. — №. 2 (37). — С. 7–14.
3. **Крутских В.В. и др.** Широкополосный металлодиэлектрический волноводный тракт с малыми потерями КВЧ-диапазона // РАДИОТЕХНИКА. — 2021. — Т. 8. — №. 3. — С. 89–98.

Д.О. Завитаев, студ.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ НА ПЭДВ

В современной радиотехнике и радиоэлектронике все более широкое применение находят полужэранированные диэлектрические волноводы (ПЭДВ). ПЭДВ могут быть использованы в качестве линий передачи антенны для миллиметрового диапазона. Поэтому исследование свойств ПЭДВ является важной и актуальной задачей, решение которой позволит найти новые методы применения и улучшить используемые.

Настоящая работа посвящена моделированию щелевой антенны на ПЭДВ. За основу был взят прямоугольный диэлектрический волновод [1], в котором производилось возбуждение электромагнитных волн. Для моделирования использовался САПР HFSS, часть методики работы в котором описана в источнике [4]. По итогам анализа были получены: диаграмма направленности исследуемой модели волновода, графики распределения электрического и магнитного поля, S-параметры. Сделать качественные и обоснованные выводы на основе полученных результатов помогли знания об основных принципах электродинамики и распространении радиоволн, описанные в [2] и [3]. После сравнения итогов моделирования ПЭДВ и ПЭДВ с целью было обнаружено, что волновод во втором случае начинает обладать свойствами приемопередающей антенны.

В результате работы был произведен расчет диэлектрических волноводов для диапазонов 8–12 мм, 6–8 мм, 4–6 мм, в следствии которого получены наилучшие соотношения формата для минимизации потерь. А также реализовано моделирование рассчитанных ПЭДВ в среде HFSS и исследовано влияние одной щели на волновод.

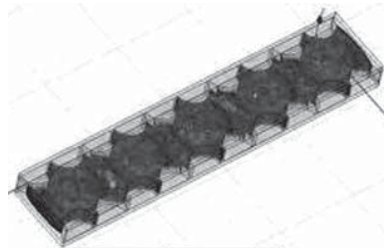


Рис. 1. Распределение поля в модели ПЭДВ

Литература

1. **Взятыхшев В.Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Советское радио, 1970.
2. **Грудинская Г.П.** Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975.
3. **Баскаков С.И.** Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1992.
4. **Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А.** Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS. М.: Оркада, 2012.

С.Э. Казаков, студ.;
рук. Е.А. Барабанова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛОКАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ 64×64

Полностью оптические сети в последние годы стали актуальной тенденцией развития оптических систем связи [1, 2]. Главным элементом полностью оптической сети является оптический коммутатор. На сегодняшний день предлагаются различные способы, технологии и архитектуры построения полностью оптических коммутаторов. В данной работе исследуется двухкаскадный полностью оптический коммутатор 64×64 с распределенным управлением, построенный на коммутационных элементах 8×8 [2]. Каждый коммутатор 8×8, кроме коммутационного элемента содержит группу локальных управляющих устройств. Целью данной работы является разработка методики расчета характеристик и параметров фильтров Брэгга — одного из главных локальных управляющих устройств, учитывающей алгоритм работы и архитектуру коммутатора, а также физические принципы построения данных фильтров.

Данная методика включает в себя расчет и построение графиков зависимости коэффициентов отражения от длины волны фильтров Брэгга 1-го и 2-го каскадов, основанных на многослойных структурах [3], подбор параметров слоев таким образом, чтобы обеспечить прохождение сигнала в нужном частотном диапазоне, расчет спектров управляющих и информационного сигналов на выходе каскадов для определения уровня сигнала и возможности детектирования.

Предлагаемая методика позволяет также определить максимальное число информационных сигналов, которые могут передаваться параллельно с управляющими сигналами для обеспечения более высокой пропускной способности системы при заданном значении длительности оптического импульса.

Литература

1. **Барабанова Е.А., Выговтов К.А., Подлазов В.С.** Model and algorithm of next generation optical switching systems based on 8×8 elements // Lecture Notes in Computer Science. 2019. Т. 11965. С. 58–70.
2. **Барабанова Е.А., Выговтов К.А.** Non-blocking Fault-Tolerant Two-Stage Dual Photon Switches // Control Sciences. 2021. № 4. С. 67–75.
3. **М. Борн,** Оптика. Учебник электромагнитной теории света / Издание “ОНТИ НКТП” Главная редакция физико-математической литературы, Издание 1-е, Исправленное под редакцией Г. П. Мотулевич, г. Москва г. 1973.

*К.Н. Прохода, А.В. Сарычев, студенты;
рук. Е.А. Барабанова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БУФЕРНОГО УСТРОЙСТВА ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА

Ключевым элементом полностью оптической сети является фотонный коммутатор [1]. Для передачи пакетов в таком коммутаторе необходимо наличие буферного устройства, которое представляет собой оптическое волокно определенной длины, где пакеты могут циркулировать до освобождения требуемого входа устройства. Такая рециркуляция, с одной стороны, позволяет уменьшить длину оптического волокна, которая определяет габариты устройства, но с другой стороны приводит к затуханию оптического сигнала, что является критичным при его дальнейшем преобразовании в приемном устройстве. Следовательно, возникает актуальная научная задача разработать методику расчета буферного устройства полностью оптического коммутатора, которая позволит заранее оценивать его размер с учетом параметров нагрузки оптической сети, производительности коммутатора, характеристик передающих и приемных оптических устройств.

Предлагаемая методика основывается на использовании теории массового обслуживания для расчета характеристик производительности оптического коммутатора, но при этом позволяет учитывать требования к физическим размерам буферного устройства и технические параметры элементов оптического коммутатора.

В качестве примера в данной работе рассмотрен оптический коммутатор 4×4 , имеющий по одной линии задержки на каждом входе [2]. Такой коммутатор может быть описан однолинейной системой массового обслуживания с пуассоновским входным потоком, экспоненциальным временем обслуживания и ограниченным буфером. В работе, используя данную модель, проводится анализ размера буфера и времени ожидания пакетов в очереди в зависимости от интенсивности поступления и обслуживания трафика. Предлагаемая методика позволяет оценивать параметры буфера оптического коммутатора и может быть использована при его проектировании.

Литература

1. **Francesco Testa, Lorenzo Pavesi.** Optical Switching in Next Generation Data Centers // Springer International Publishing AG. — 2018. — 336 p.
2. **Барабанова Е.А., Выговтов К.А., Барабанов И.О., Мальцева Н.С.** Модель и алгоритм работы оптического коммутатора 4×4 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 2. С. 48–55.

*П.Ю. Гречкина, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. А.И. Черников, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИИ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Из множества методов управления бионическим протезом верхних конечностей наибольший интерес представляет использование алгоритмов самообучения, которые позволяют распознавать движения оператора с помощью команд управления [1]. Системы управления, относящиеся к категории самообучающихся, базируются на методах автоматической классификации или обучения на примерах. В процессе обучения автоматически создаются обобщающие правила или функции, описывающие принадлежность ситуаций к определенным классам. В дальнейшем эти правила используются системой при анализе новых ситуаций.

Настоящая работа посвящена разработке программы на языке Python, представляющую из себя нейронную сеть для анализа и классификации паттернов (образов) мышечной активности, так как основанный на этом метод управления бионическим протезом является одним из наиболее распространенных [2]. Так, для основной части кода используются популярные библиотеки, например, NumPy, а обучающая выборка представляет собой отфильтрованные и приведенные в удобный для нейросети вид электрические сигналы с бицепса и длинной ладонной мышцы, зарегистрированные при разных движениях руки у людей разных комплекций. После обучения при поступлении в нее тестовых данных нейронная сеть способна принимать решение о том, какое движение было произведено с удовлетворительной точностью. На данном этапе разработки выходное значение подается по беспроводной связи на Arduino, подключенную к сервоприводам, которые управляют движением пальцев макета роботизированной руки. Таким образом, управление жестами макета происходит движением руки.

В результате работы получена нейронная сеть на Python, позволяющая классифицировать жесты макета руки по движениям руки человека. В перспективе необходимо улучшить точность предсказания программы.

Литература

1. **Горохова Н.М., Головин М.А., Чежин М.С.** Методы управления протезами верхних конечностей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2019. — Т. 19. — №. 2. — С. 314–325.
2. **Amsüss S. et al.** Self-correcting pattern recognition system of surface EMG signals for upper limb prosthesis control // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. — 2013. — Т. 61. — №. 4. — С. 1167–1176.

М.А. Чивиева, О.В. Белушенко, студенты; А.Н. Ушков, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Обработка радиосигналов с целью извлечения информации и уменьшения влияния шумовых компонент является важнейшим направлением развития современных радиотехнических систем связи и радиотехники [1]. С развитием микропроцессорной техники особое внимание получили алгоритмы цифровой фильтрации, обеспечивающие сглаживание шумовых выбросов и повышающие точность и качество обрабатываемого сигнала.

В настоящей работе обсуждаются возможности применения цифровых методов фильтрации в системах сбора данных на базе микроконтроллеров ESP-32 и STM-32. В качестве входного возмущения на цифровой фильтр был подан гармонический сигнал с квазислучайным процессом с гауссовским законом распределения. Также в модель шума добавлены энергетические выбросы, являющиеся наиболее негативным флуктуационным явлением. По измеренным данным получены соотношения сигнал/шум для различных фильтров и их параметров фильтрации [2].

В результате работы были получены зависимости показателей качества работы цифровых фильтров на основе соотношения сигнал/шум на входе и выходе системы [3].

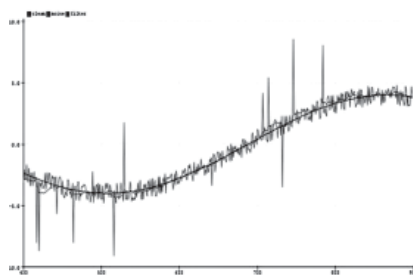


Рис. 1. Осциллограмма сигнала с шумом до обработки фильтром Калмана и после фильтрации

Литература

1. Ushkov A.N. et al. Industrial Internet of Things Platform for Water Resource Monitoring // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2023. — С. 593–599.
2. Krutskikh V.V. et al. Wireless Degassing Sensor for the Industrial Internet of Things in Heating Systems // 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). — IEEE, 2023. — С. 769–774.
3. Krutskikh V. V. et al. The Internet of Things System to Prevent Gantry Crane Collisions // 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). — IEEE, 2023. — С. 763–768.

А.Е. Семичастнов, студ.;
рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ENGEE

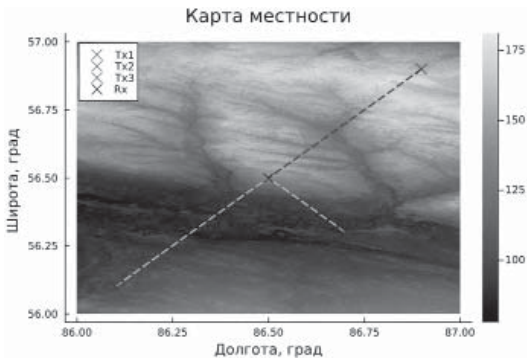


Рис. 1. Пример расположения базовых станций

Разработка цифровой модели навигации является актуальной задачей при проектировании реальных навигационных и локационных систем [1]. Такая модель дает возможность выбора оптимального расположения базовых станций для наибольшего покрытия площади действия системы, а также позволяет учесть влияние подстилающей поверхности для заданного географического положения.

В докладе излагаются принципы построения навигационной модели в среде Engee [2] (рис. 1). Модель представляет собой сложную техническую систему, которая состоит из множества различных программных модулей таких как: «генератор псевдослучайной последовательности», «модулятор», «среда распространения», «демодулятор», «корреляционная обработка сигналов», «алгоритм определения местоположения».

Таким образом, использование такого подхода проектирования способствует улучшению технических характеристик системы и уменьшению финансовых затрат при разработке аппаратной части устройства. Благодаря возможности многократного запуска симуляции для разнообразных сценариев поведения объекта в реальных условиях, модель позволяют более подробно изучить влияние различных негативных факторов (многолучевость, шумы в канале и т.п.) на устойчивость работы навигационной системы.

Литература

1. **Д.А. Балакин, Е.В. Керский.** Разработка цифрового двойника радиолокационной станции дальнего обнаружения. Вестник Концерна ВКО «Алмаз — Антей». 2020;(1):10–18.
2. **Электронный ресурс:** <https://start.engee.com>

М.А. Исаев, студ.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА K5500BK018

Из-за условия действия антироссийских санкций и политики импортозамещения существует потребность в разработке и использовании отечественной компонентной базы. В настоящее время большинство отечественных ПЛК используют микропроцессоры и микроконтроллеры зарубежного производства. Поэтому необходима их срочная замена.

В рамках работы был рассмотрен отечественный микроконтроллер K5500BK018 «Комдив-МК». В качестве отладочной платы использовалась плата «БАГЕТ ПЛК-01» на базе этого микроконтроллера под управлением операционной системы GNU Linux (Debian Linux for MIPS). была разработана методика подготовки и настройки микроконтроллера и рабочего места для работы и программирования с микроконтроллером, также была разработана методика программирования этого микроконтроллера. В качестве платформы использовалась платформа Mono, которая является реализацией платформы Microsoft .NET Framework для разных операционных систем (в том числе и для Linux) и разных архитектур процессора с полностью открытым исходным кодом. Были рассмотрены методы программирования основных устройств платы и, таких как GPIO, I2c, Lan с использованием языка программирования C#. Описаны основные особенности применения библиотек с открытым исходным кодом для устройств интернета вещей .Net.IOT для его программирования.

В перспективе разработка уменьшенного модуля микроконтроллера для интеграции в ПЛК системы «Мицар» по аналогии с модулями ESP-32 и STM32 под минимальный возможный формфактор.

Литература

1. **Программируемый логический контроллер «БАГЕТ-ПЛК1-01»** — Москва. URL: <https://www.niisi.ru/БАГЕТ-ПЛК1-01.pdf> (дата 10 сентября 2023). Текст: цифровой.
2. **Полное руководство по языку программирования C# 11 и платформе .NET** — Москва. URL: <https://metanit.com/sharp/tutorial/> (дата 10 сентября 2023). Текст: цифровой.
3. **Документация по библиотекам .NET для Интернета вещей** — Москва. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/iot/> (дата 10 сентября 2023). Текст: цифровой.

А.А. Николаев, М.С. Матросов, студенты (Московский политех),
 А.М. Игнатов, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
 рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ УЗЛОВ НА SIW-ВОЛНОВОДЕ

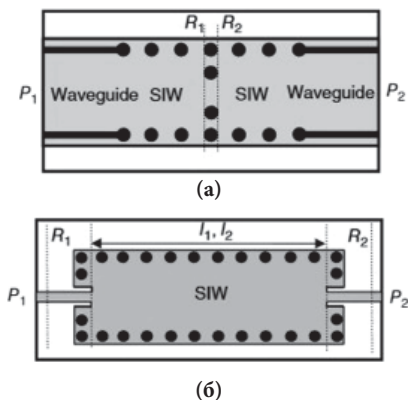


Рис. 1. Конструкция полосового фильтра на базе SIW-волновода

методов построения избирательных узлов на SIW волноводе. Для практической реализации узла использованы методики проектирования функциональных СВЧ узлов с применением цифровых двойников. Изготовление прототипов для экспериментальной проверки осуществлялось при помощи 3D-печати.

В результате работы был изучен полосовой фильтр на SIW-волноводе при помощи численных методов расчета и экспериментальной проверки на базе физического эксперимента [3].

Литература

1. Крутских В.В., Взятых В.Ф. Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. Chen X. P., Wu K. Substrate integrated waveguide filter: Basic design rules and fundamental structure features // IEEE Microwave Magazine. — 2014. — Т. 15. — №. 5. — С. 108–116.
3. Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

Поиск технических решений избирательных узлов КВЧ диапазона является одной из важнейших задач современной СВЧ-техники [1]. Использование различных волноводных конструкций позволяет добиться не худших энергетических характеристик проектируемого СВЧ тракта, таких как добротность, температурная стабильность, стабильность к внешним воздействиям и уменьшение массогабаритных размеров.

В настоящей работе производится исследование избирательных узлов на базе SIW волновода [2], который является перспективным узлом канализации электромагнитной волны в КВЧ диапазоне.

В работе проведен анализ современных

Н.Ю. Щепотьев, студ.;
рук. А.А. Деев, асп.; рук. А.А. Кальщиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МОДУЛЕМ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (УМКИН)

Для управления УМКИН реализована система на кристалле, изображенная на рис. 1, основе которой лежит ARM процессор, интегрированный совместно с ПЛИС. Данная система позволяет управлять периферийными модулями — АЦП и ЦАП, усилителями (с помощью интерфейсов Avalon-MM)[1], а так же производить предварительную обработку сигналов.

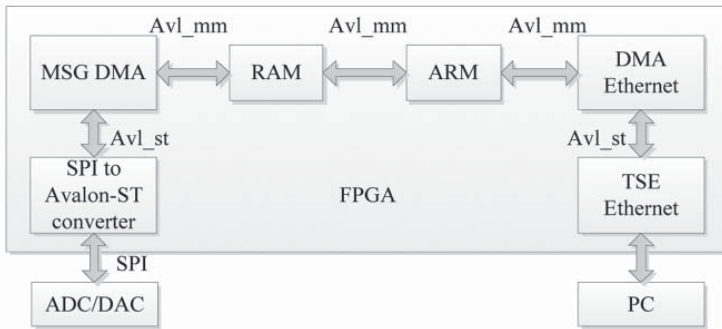


Рис. 1. Структурная схема системы управления модулем

Работа с внешними устройствами, такими как АЦП, ЦАП осуществляется с помощью интерфейсов SPI и UART. Программный код реализуется на языке C++. Архитектура системы описана на языке SystemVerilog, является универсальной и может быть использована в других проектах, где требуется система управления, регистрации и предварительной обработки данных. Реализован алгоритм захвата данных, буферизации и отправки на ЭВМ через Ethernet по протоколу UDP, а так же получение данных с ЭВМ через Ethernet, буферизация и формирование сигнала на ЦАП.

Литература

1. **Altera Corporation.** Cyclone V Hard Processor System Technical Reference Manual.

*Т.А. Алдошин, Е.П. Хачатуров, студенты;
рук. Е.А. Барабанова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ФОТОННЫЙ КОММУТАТОР 4×4 С ДУБЛИРОВАНИЕМ КОММУТАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА

На сегодняшний день фотонные сети являются перспективным направлением развития сетей связи нового поколения [1]. Они позволяют передавать большой объем информации с малыми задержками, что является ключевым достоинством современных сетей. Такие возможности связаны с отсутствием двойных преобразований сигнала в основном элементе фотонной сети — фотонном коммутаторе. В отличие от электрооптических коммутаторов в фотонном коммутаторе информация передается в оптическом виде без оптоэлектронных и электрооптических преобразований на входе и выходе системы соответственно. Но помимо быстрого действия для соответствия высоким требованиям современных сетей важно обеспечить безотказное функционирование фотонного коммутатора. В связи с этим возникает актуальная задача разработать архитектуру фотонного коммутатора, обладающего высокими надежностными характеристиками.

В данной работе предлагается новая архитектура фотонного коммутатора, содержащего 4 входа и 4 выхода, отличающегося от известного [2] наличием второго коммутационного элемента, системы управления переключением с одного коммутационного элемента на дублирующий и выходных мультиплексоров для вывода оптических сигналов. Принцип работы данного фотонного коммутатора основан на децентрализованном управлении. Локальные устройства предлагаемого коммутатора обеспечивают переключение о основного коммутационного элемента на резервный в случае его выхода из строя, а при нормальном функционировании оба коммутационных элемента могут работать одновременно, что позволяет кроме повышения надежности повысить и пропускную способность системы. В ходе проведенного исследования была проанализирована надежность фотонного коммутатора с одним коммутационным элементом и с дублированием. Для анализа использовались динамические и статические модели надежности. Также показано насколько повысилась коммутационная и соединительная сложности нового коммутатора.

Литература

1. **Maier, Martin.** Optical switching networks / Martin Maier // Cambridge University Press. — 2008. — 343 p.
2. **Барабанова Е.А., Вытовтов К.А., Барабанов И.О., Мальцева Н.С.** Фотонная коммутационная ячейка. Патент на полезную модель RU 179015 U1, 25.04.2018. Заявка № 2017128161 от 07.08.2017.

*М.П. Горшков, студ.; А.А. Деев, асп.;
А.А. Кальщиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА IP-ЯДРА ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРИЁМА ДАННЫХ АЦП ПО ИНТЕРФЕЙСУ SPI В УЛЬТРАЗВУКОВОМ МОДУЛЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (УМКИН-1)

Разработка IP-ядра для ультразвукового модуля контрольно-измерительного назначения УМКИН выполняется с целью обеспечения высокоскоростного приёма данных с АЦП и дальнейшей обработки.

Для реализации регистрации данных с АЦП реализуется аппаратный модуль на языке SystemVerilog, осуществляющий приём данных с АЦП по интерфейсу SPI на скоростях до 38 Мбит/с. 18-разрядный АЦП может работать с частотой дискретизации до 2 МГц. Созданный модуль осуществляет преобразование потока данных с АЦП, принятых по интерфейсу SPI в интерфейс потоковых данных Avalon-ST [1], позволяющий удобно буферизовать данные и производить их последующую обработку. Упрощённая схема использования блока представлена на рисунке 1.

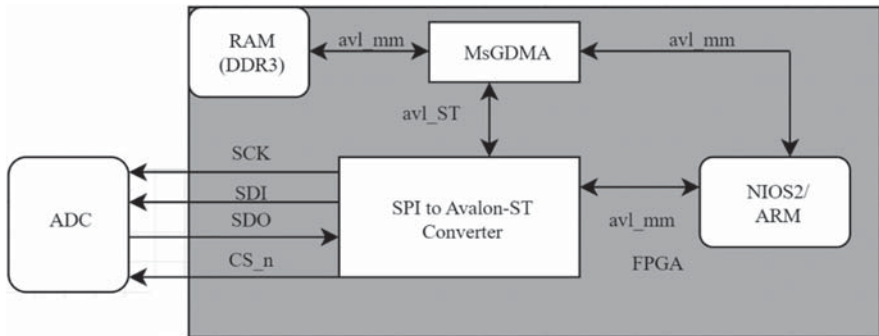


Рис. 1. Упрощённая структурная схема

Модуль позволяет проводить реконфигурацию регистровой карты АЦП при помощи интерфейса Avalon-MM [1], который может быть подключен к синтезируемому процессору Nios II или ARM процессору.

IP-ядро, описанное на языке SystemVerilog, может также применяться и в других проектах, где необходима высокоскоростная регистрация и обработка данных АЦП, принимаемых по интерфейсу SPI. Ключевой особенностью модуля является возможность изменения скорости работы, а также совместный режим работы с картой регистров АЦП.

Литература

1. **Analog Devices** Datasheet ADAQ4003.

А.Д. Ёлчев, студ.;
рук. А.А. Меркулов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА ДЛЯ СПУТНИКА ФОРМАТА «CUBESAT»

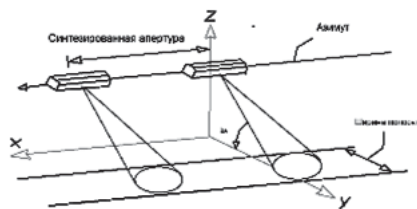


Рис. 1. Схема радара с синтезированной апертурой

В настоящее время отработавшие космические аппараты несут опасность для работы действующих объектов, поэтому возникает потребность разработки устройств, способных собирать или уничтожать космический мусор.

В данной работе предлагается способ отслеживания космического мусора для дальнейшего применения на спутниках формата «CubeSat» [1].

Для того чтобы отследить мусор, для начала будем смотреть изменение светимости Солнца при помощи пиранометра, так мы поймём, что мы наткнулись на какой-то объект. Отличать космический мусор от действующих объектов будем при помощи радара с синтезированной апертурой (рис. 1), будем смотреть на изменение частоты отражённой от объекта радиоволны и сравнивать его с ожидаемым значением. Если разница между измеренным и ожидаемым значениями превышает пороговое значение, то объект является источником радиоволн, следовательно, действующим космическим аппаратом. К тому же мы можем наткнуться на метеориты, поэтому третьим этапом будем измерять скорость объектов, также используя радар с синтезированной апертурой. Делать мы это будем, основываясь на эффект Доплера, то есть будем смотреть на частоту отражённых волн. Средняя скорость мусора на низкой орбите Земли составляет примерно 7 км/с, а скорость метеоритов составляет в среднем от 12 до 25 км/с, поэтому если скорость будет сильно превышать среднее значение, то делаем вывод, что мы наткнулись на метеорит.

На данный момент идёт разработка собственного прототипа радара, то есть выбрана схема и собрана первая плата, а также подобран список необходимых компонентов для полной сборки радара.

Литература

1. Park W. Untrackable Space Debris Active Removal Using a Nano Satellite / Woosang Park, Taeho Kihm, Yunju Na, Hyochoong Bang // ESA Space Debris Office — Conference — 2017. — Vol. 7.

Секция 2

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ

Generation of oscillations and signals

Председатель секции: д.т.н., профессор Удалов Николай Николаевич

Секретарь секции: Чеченя Сергей Александрович

А.Д. Феоктистов, асп.; рук. А.Р. Сафин, д.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДВУХКОНТУРНЫЙ АВТОГЕНЕРАТОР НА КООКСИАЛЬНОМ КЕРАМИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ

Автогенераторы на коаксиальных керамических резонаторах широко используются для создания устройств формирования и обработки радиосигналов, синтеза частот и т.д. [1]. К их преимуществам, отличающим их от автогенераторов другого типа, можно отнести малый уровень фазовых шумов, температурную стабильность, дешевизну, малые габариты. Доступные коаксиальные резонаторы позволяют реализовывать автогенераторы в диапазоне частот от нескольких сотен мегагерц до единиц гигагерц.

Уровень фазовых шумов в таких автогенераторах существенно зависит от добротности коаксиального керамического резонатора, качества металлизации стенок, физических размеров резонатора, а также от степени связи резонатора и активного элемента.

Перспективной видится идея реализации двухконтурного автогенератора, в котором один из контуров реализован на коаксиальном керамическом резонаторе, а второй контур — на LC-элементах, с реализацией режима бигармонических колебаний. Подобный подход, потенциально, может улучшить значения фазовых шумов, при этом сохранив основные достоинства автогенераторов на коаксиальных керамических резонаторах — малые габариты, а также дешевизна. Уменьшение фазовых шумов позволит, например, повысить чувствительность приемной аппаратуры.

В настоящей работе теоретически исследуется задача получения бигармонических колебаний в автогенераторе на коаксиальном керамическом резонаторе. Были исследованы динамические режимы бигармонического автогенератора: стационарные режимы и их устойчивость, а также длительность переходных процессов.

В результате исследования в системе автоматического проектирования была построена модель автогенератора, работающего в режиме бигармонических колебаний, получены значения спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемого колебания.

Литература

1. **Ченакин, А.В.** Практическое построение синтезаторов частот СВЧ-диапазона // А.В. Ченакин, А.В. Горева / — М.: Горячая линия — Телеком, 2023. — 280 с.

И.А. Лазовский, студ.;
рук-ли В.С. Добромыслов, к.т.н., доц.;
Д.А. Фролов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОГЕНЕРАТОРА НА ДИСКОВОМ ЛЕЙКОСАПФИРОВОМ РЕЗОНАТОРЕ

Для создания стабильных СВЧ автогенераторов (АГ) необходимо использовать высокодобротные колебательные системы (КС) на основе объёмных резонаторов. Наиболее высокие добротности в СВЧ диапазоне характерны для резонаторов из лейкосапфира, которые, как правило, изготавливают в форме диска и возбуждают на азимутальных модах (типа «шепчущая галерея»).

Однако в доступной литературе отсутствуют чёткие указания относительно выбора конкретной рабочей моды, размеров лейкосапфирового резонатора и способе его возбуждения, хотя известно [1], что эти факторы существенно влияют на добротность резонатора и отстройку резонансной частоты рабочей моды от частот «мешающих» мод.

В работе представлены результаты исследования резонансной структуры, состоящей из дискового лейкосапфирового резонатора и микрополосковой линии (МПЛ). Резонатор возбуждался в режиме бегущей волны через участок распределённой связи с МПЛ. Регулировка уровня связи осуществлялась программно-аппаратным блоком экспериментальной установки. Размеры резонатора: диаметр — 35,99 мм, высота — 13,95 мм. Исследования проводились в диапазоне частот (9–22) ГГц с использованием векторного анализатора спектра. Наиболее высокая добротность зафиксирована для колебания $HE_{n,1,1}$, $n = 10$ ($f_p = 10,941$ ГГц, $Q \approx 1,64 \cdot 10^5$). Добротность колебаний при $n < 10$ ниже за счёт радиационных потерь, а при $n > 10$ — меньше за счёт частотной зависимости диэлектрических потерь. Полученные результаты по потерям в лейкосапфире в исследуемом частотном диапазоне достаточно точно соответствуют данным работы [2].

Даются рекомендации по выбору рабочего типа колебаний и расположению МПЛ относительно резонатора для последующего использования в качестве КС АГ СВЧ с низким уровнем спектральной плотности мощности фазового шума.

Литература

1. **Диэлектрические резонаторы** / М.Е. Ильченко [и др.]; под. ред. М.Е. Ильченко. — М.: Радио и связь, 1989. — 328 с.
2. **Брагинский В.Б.** Собственные и несобственные диэлектрические потери СВЧ в совершенных кристаллах / В.Б. Брагинский, Х.С. Багдасаров, В.С. Ильченко // Препринт № 5. — М.: Физический факультет МГУ. 1986. — 4 с.

А.А. Епифанов, асп.;
рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДВУХСТАДИЙНАЯ МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ БОРТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Для космической радиопередающей аппаратуры необходимо находить компромисс одновременного выполнения требований достаточной энергетической эффективности, высокой информативности в ограниченной полосе радиочастот с заданной достоверностью в условиях помех и электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Технология обучаемой искусственной нейронной сети (ИНС) в составе модулятора информационного потока данных актуальна и позволяет значительно улучшить качественные показатели усилителя мощности (УМ) бортового ретранслятора. В представленном докладе, развивающем [1], выполнено исследование вычислительной модели перспективного двухстадийного алгоритма генеративно-сопоставительной сети для линейризации УМ, использованной в [2] для обработки изображений.

В схеме обучения используется итеративная процедура последовательного взаимодействия двух ИНС, первая из которых в блоке генератора обучающей последовательности ГОП по алгоритму GAN (*англ.* Generative Adversarial Network) генерирует и корректирует обучающую последовательность для линейризатора, а вторая обучается по отклику функции потерь ФП при взаимодействии с блоком быстрого преобразования Фурье БПФ, по аналогии с [3] и обеспечивает оптимизацию выбранного критерия качества. В качестве критерия используется уровень мешающих излучений в соседних с выделенным частотных каналах (*англ.* Adjacent Channel Power Ratio, ACPР).

Приведены результаты вычислительных экспериментов и сравнительные характеристики качества обучения для различных модификаций многомерной функции потерь и длительности обучения.

Литература

1. **Епифанов, А.Е.** Нейросетевые методы минимизации внеполосных излучений бортовых усилителей мощности / Тез. докл. 29-ой междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (16–18 марта 2023 г.): — М: ООО «Центр полиграф. услуг «Радуга», 2023. — С. 34.
2. **Goodfellow, Ian J.** Generative Adversarial Nets // Ian J. Goodfellow [et al.]. / Communications of the ACM. — Vol. 63. — Issue 11 (Nov. 2020). — Pp. 139–144. [https:// DOI:10.1145/3422622](https://doi.org/10.1145/3422622).
3. **Chen, Po-Yu.** Learning to Compensate: A Deep Neural Network Framework for 5G Power Amplifier Compensation / Po-Yu Chen [et al.] // IEEE International Conference on Communications (ICC 2021). — 14–23 June 2021. — IEEE Xplore: 06 August 2021. — DOI: 10.1109/ICC42927.2021.9500277.

С.А. Винокуров, асп.; рук. А.Р. Сафин, д.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОХОЖДЕНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЧЕРЕЗ АВТОГЕНЕРАТОР НА ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Автогенераторы с задержанной обратной связью широко используются для создания устройств формирования и обработки радиосигналов, синтеза частот [1] и т.д. Они обладают рядом преимуществ, отличающих их от аналогичных генераторов с сосредоточенными параметрами: широкий диапазон перестройки частоты, малый уровень фазовых шумов, высокая чувствительность к внешним воздействиям и т.д. Автогенераторы на основе поверхностных акустических волн, спиновых волн и оптики обладают чрезвычайно большим диапазоном перестройки резонансной частоты за счет изменения постоянного подмагничивающего поля [1]: от единиц до двух десятков ГГц в одном устройстве.

Вместе с тем уровень фазовых и амплитудных шумов таких генераторов существенно зависит от неидеальности среды распространения спиновых волн — пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ), наличия примесей, шероховатости и т.д. Именно из-за отсутствия реализации технологически «идеальных» пленок ЖИГ связана редкое применение таких автогенераторов, в сравнении с аналогами на сферах ЖИГ. Но с появлением возможности создания пленок ЖИГ с высокой степенью повторяемости, отсутствия неидентичности и высокой степенью однородности, причем на полупроводниковых подложках, что открывает новые направления для интеграции таких пленочных ЖИГ линий задержки интегрально в микроисполнении. Поэтому необходимость исследования таких автогенераторов в настоящее время является актуальной и своевременной.

В настоящей работе исследуется задача прохождения модулированных колебаний через автогенератор на ЖИГ линии задержки. Получена модель в виде дифференциального уравнения для комплексной амплитуды напряжения на входе линии задержки, при помощи линеаризации вблизи стационарного положения равновесия найдены коэффициенты передачи малых отклонений амплитуды и фазы на выходе автогенератора при малом изменении амплитуды и фазы внешнего воздействия.

Полученные автором результаты позволят найти выражения для спектральной плотности мощности амплитудных и фазовых флуктуаций, которые необходимы для исследования автогенераторов на пленочных ЖИГ линиях задержки.

Литература

1. **Ченакин, А.В.** Практическое построение синтезаторов частот СВЧ-диапазона / А.В. Ченакин, А.В. Горевой. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2023. — 280 с. — 500 экз. — ISBN 978-5-9912-0918-2. — Текст : непосредственный.

Е.А. Казаков, асп.; рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ БЛОКА ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

При разработке автономных малогабаритных многофункциональных гидрорелакторов возникает необходимость в разработке специальных блоков формирования гидроакустических сигналов в составе передающего тракта.

В работе рассматривается модель многоканального блока формирования широкополосных гидроакустических сигналов.

С целью минимизации весогабаритных показателей передатчика предлагается использовать усилители класса D, управление которыми осуществляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1]. Подобные устройства, работающие в области звуковых частот, выпускаются массово, однако разработка таких устройств для более высоких частот является специальной задачей.

В качестве решения для понижения требований к верхней рабочей частоте блока предлагается использовать многоканальные усилители класса D. Дополнительно для повышения быстродействия каждого отдельного канала усилителя предлагается использовать транзисторы на основе нитрида галлия, обладающие лучшим быстродействием по сравнению с кремниевыми транзисторами [2].

Формировать модулирующий сигнал предлагается с использованием ШИМ-модуляторов на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), позволяющих относительно легко параллельно генерировать необходимое число ШИМ каналов с различным начальными фазами [3].

В работе описываются особенности проектирования модели блока формирования гидроакустических сигналов на основе многоканального цифрового ШИМ модулятора и многоканального ключевого усилителя. Моделирование усилительной части блока проводилось в САПР Micro-Cap. Проектирование и моделирование высокоточного ШИМ модулятора осуществлялось на базе ПЛИС Xilinx xc7z020clg400-1 в интегрированной среде разработки Xilinx Vivado.

Представленные в работе модели и рекомендации могут быть использованы при проектировании трактов формирования широкополосных гидроакустических сигналов.

Литература

1. **Cellier R.** An review of fully digital audio class D amplifiers topologies / R. Cellier, G. Pillonnet, A. Nagari, N. Abouchi // Joint IEEE North-East Workshop on Circuits and Systems and TAISA Conference. — IEEE, 2009. — P. 1–4.
2. **Prado E.O.** An overview about Si, Superjunction, SiC and GaN power MOSFET technologies in power electronics applications / E.O. Prado, P. C. Bolsi, H.C. Sartori, J.R. Pinheiro // Energies. — 2022. — Vol. 15, № 14. — P. 44–52.
3. **Muttaqin A.** FPGA based synchronous multi-channel PWM generator for humanoid robot / A, Muttaqin, S. D. Finnadi, Z. Abidin, K. Araki // International Journal of Electrical & Computer Engineering. — 2021. — Vol. 11, № 1. — P. 249–256.

К.Д. Самойленко, студ.; А.Ю. Митрофанова, инж. (ИРЭ РАН);
рук. А.Р. Сафин, д.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНЫХ ТОПОЛОГИЙ СВЯЗАННЫХ КОНСЕРВАТИВНО АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Благодаря высоким естественным резонансным частотам антиферромагнитных (АФМ) осцилляторов они могут быть использованы в различных устройствах терагерцовой электроники, в частности, в нейроморфных процессорах. Для достижения более высокой мощности и скорости вычислений предлагаемых устройств необходимо исследовать различные топологии связанных АФМ осцилляторов. В данной работе получено следующее общее уравнение (сигма-модель [1]) для N связанных общим дипольным полем АФМ осцилляторов, с помощью которого можно численно исследовать динамику ансамбля и определить наиболее подходящую для решения конкретной задачи топологию:

$$\ddot{\varphi}_j + \alpha \omega_{\text{ex}} \dot{\varphi}_j + \frac{\omega_c \omega_{\text{ex}}}{2} \sin 2\varphi_j + \frac{1}{2} \sum_{i=1, i \neq j}^N [3k_{i1} \cos(\varphi_i + \varphi_j) + k_{i2} \sin(\varphi_i - \varphi_j) + 3k_{i3} \sin(\varphi_i + \varphi_j)] = \sigma j_{\text{DC}} \omega_{\text{ex}},$$

Выражения для коэффициентов связи для кольца и решетки k_{i1} , k_{i2} , k_{i3} зависят от выбранной топологии и имеют следующий вид

$$k_{i1} = \frac{\zeta}{\left| \sin \frac{\pi(i+j)}{N} \right|^3} \sin \frac{2\pi(i+j)}{N}, \quad k_{i2} = \frac{\zeta}{\left| \sin \frac{\pi(i+j)}{N} \right|^3}, \quad k_{i3} = -\frac{\zeta}{\left| \sin \frac{\pi(i+j)}{N} \right|^3} \cos \frac{2\pi(i+j)}{N}; \quad (1)$$

где

$$k_{i1} = 2\zeta b \cdot \frac{(i_2 - i_1)(j_2 - j_1)}{(i_2 - i_1)^2 + (j_2 - j_1)^2}, \quad k_{i2} = \zeta b, \quad k_{i3} = \zeta b \cdot \frac{(j_2 - j_1)^2 - (i_2 - i_1)^2}{(i_2 - i_1)^2 + (j_2 - j_1)^2},$$

$$b = \left[(i_2 - i_1)^2 + (j_2 - j_1)^2 \right]^{\frac{2}{3}}.$$

В работе показано, что консервативную связь АФМ осцилляторов посредством общего дипольного поля можно выразить через тригонометрические функции. Различие же в топологии связи отражается исключительно на коэффициентах общего для случаев кольца и решетки уравнения.

Найденные выражения будут использованы для вычислительных экспериментов и сравнительного анализа рассмотренных топологий.

Литература

1. **Иванов, Б.А.** Спиновая динамика антиферромагнетиков и сверхбыстрая спинтроника / Б.А. Иванов // ЖЭТФ. — 2020. — Т. 158. — Вып.1 (7). — С. 103–123. — DOI: 10.31857/S004445102007010X.

*Д.В. Полозов, студ.; Д.А. Габриелян, асп.;
рук. А.Р. Сафин, д.ф.-м.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВОЗБУЖДЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ПОМОЩИ КОПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

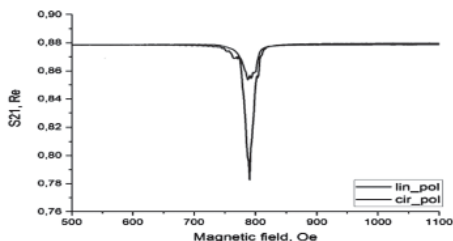


Рис. 1. Результаты измерения параметров ферромагнитного резонанса при различных видах поляризации волн

дения ФМР при помощи копланарного волновода с круговой поляризацией волн [1]. Ферритовый образец располагался в центре скрещенного волновода, который в свою очередь был расположен между полюсами электромагнита. Магнитным полем возбуждалась прецессия намагниченности внутри образца, а при совпадении частоты прецессии с частотой волны с круговой поляризацией, происходило резкое увеличение поглощения мощности (см. рис. 1). Круговая поляризация волн создавалась при помощи квадратурного делителя мощности. Формирование поля с круговой поляризаций на поверхности волновода, достигалась за счет сложения двух ортогональных волн [1, 2]. Для практической реализации использовались делители мощности с различными значениями полосы пропускания, у которых на выходе получают равные по мощности квадратурные сигналы. Данное устройство будет использовано для возбуждения ферромагнитного резонанса в магнитных материалах.

Возбуждение ферромагнитного резонанса и измерения его параметров дают возможность исследовать поглощающую способность различных магнитных материалов в широком диапазоне частот. В связи с этим возникла потребность в разработке устройств для возбуждения электромагнитной волны с различными характеристиками.

В данной работе экспериментально исследовался метод возбуж-

Литература

1. **Кан, I.** Circularly polarized magnetic field generated by two microfabricated crossed coplanar waveguides / I. Kan [et al.] // Applied Physics Letters. — 2017. — Vol. 110, № 20. — P. 1-4.
2. **Полозов, Д.В.** Возбуждение электромагнитных волн круговой поляризации полосковыми линиями передачи / Д.В. Полозов, Д.А. Габриелян, А.Р. Сафин [и др.] // РЭНСИТ: Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии, 2022, 14(4): — С. 351–358. — DOI: 10.17725/rensit.2022.14.351

А.О. Ходакова, студ.; рук. С.А. Чеченя, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

В последние годы интерес к широкополосным радиосигналам сильно вырос. Во многом этому поспособствовало развитие систем локального определения местоположения объекта внутри помещения (*англ. indoor navigation*). В 2019 году компания Apple представила решения в области локальной радионавигации: чип U1 с СШП технологией (*англ. ultra-wideband, UWB*) и активными радиочастотными метками отслеживания позиции (*англ. AirTag*) в диапазоне частот от 6,24 до 8,24 ГГц. Вероятно, что СШП технология локальной радионавигации потеснит стандарт Bluetooth для систем радиосвязи малого радиуса действия.

В Российской Федерации функционал меток AirTag ограничен по требованиям электромагнитной совместимости. Поэтому для отечественного рынка актуальна разработка собственных широкополосных систем локального позиционирования и радиосвязи.

В качестве сигналов могут использоваться фрактальные шумоподобные радиосигналы, которые формируются цифровым способом с помощью псевдослучайных последовательностей на выходе цифрового фильтра нижних частот Корсини-Салетти [1]. Варьируя параметры этого фильтра, можно изменять величину его фрактальной размерности, что позволяет применять фрактальные радиосигналы, кроме задач позиционирования, также для помехозащищенных систем передачи информации.

В докладе представлены результаты эксперимента по формированию фрактальных радиосигналов. На первом этапе с помощью программной среды MATLAB Simulink формируются цифровые отсчеты. На втором этапе они поступают на полудуплексную программно-определяемую радиосистему HackRF One [2] и излучаются на эквивалент антенны. Для организации взаимодействия Simulink и программно-определяемой радиосистемы, а также для расчёта характеристик сформированных сигналов используется программная среда GNU Radio [3].

Литература

1. **Corsini, G.** A $1/f^{\nu}$ power spectrum noise sequence generator / G. Corsini, R. Saletti // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 1988. — Vol. 35, № 4. — P. 615–619. — DOI: 10.1109/19.9825.
2. **Hack RF One** Documentation: site. URL: <https://hackrf.readthedocs.io/> (дата обращения 07.12.2023).
3. **GNU Radio Manual**: site. URL: <https://wiki.gnuradio.org/> (дата обращения 07.12.2023).

С.И. Горбунов, студ.; рук. Д.А. Фролов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ СВЧ-ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСОВОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО В ПОДЛОЖКУ ВОЛНОВОДНОГО ФИЛЬТРА

При разработке радиоприемных устройств возникает задача проектирования полосового фильтра. Однако, при реализации фильтра частотные характеристики могут отличаться от ожидаемых. В процессе отладки можно устранить некоторые искажения полосы пропускания и КСВ, но важно узнать причину искажений и оптимизировать фильтр так, чтобы он не требовал настройки. Для работы был выбран фильтр, изготовленный по технологии интегрированного в подложку волновода (англ. Substrate Integrated Waveguide, SIW) из-за его малых размеров и высокой добротности относительно других типов фильтров [1].

В предыдущей работе [1] была рассчитана модель полосового фильтра, настроенного на частоту 15.03–16.88 ГГц по уровню 3 дБ. Новый фильтр имеет схожую топологию, но пересчитан на частоты 14.5–15.5 ГГц. Фильтр рассчитан и изготовлен на подложке компании Rogers под названием WL-CT338, аналог RO4003С с диэлектрической проницаемостью 3.38 [2] Моделирование производилось в СВЧ САПР [3]. На рис. 1 представлены частотные характеристики изготовленного фильтра.

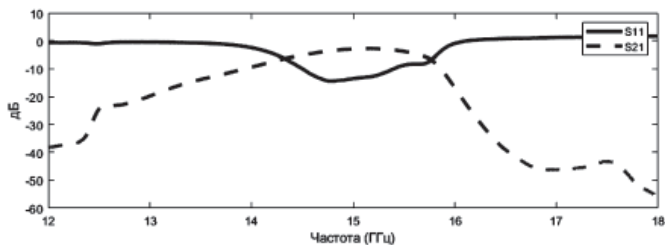


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициентов отражения S11 и прохождения S21 изготовленного фильтра

В работе представлены результаты моделирования, топология фильтра, а также результаты измерений СВЧ-параметров и анализ пригодности изготовленного фильтра.

Литература

1. **Горбунов, С.И.** Проектирование полосового SIW-фильтра Ku-диапазона / С.И. Горбунов, Д.А. Фролов // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». — Сборник докладов. : Санкт-Петербург. 29 мая — 2 июня 2023 г. — С. 151–155.
2. Отечественный производитель печатных плат. — [Электронный ресурс] URL: <https://www.rezonit.ru>
3. **Разевиг, В.Д.** Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин; под ред. В.Д. Разевига. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 496 с.

*В.А. Лойко, асп.; Д.О. Даниленко, студ.;
рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОПОРТОВЫХ STW-РЕЗОНАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ПЛОТНОСТЬ МОЩНОСТИ ФАЗОВОГО ШУМА ТРАНЗИСТОРНЫХ СВЧ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Одним из перспективных направлений разработки СВЧ автогенераторов является разработка автогенераторов на поверхностных поперечных волнах или СПВ-резонаторах (сдвиговая поперечная волна). Скорость распространения такой волны примерно в 1,5 раза выше, чем у Рэлеевской поверхностной акустической волны, что позволяет получить более высокие частоты резонаторов при одинаковых технологических нормах изготовления. Частотные свойства однопортовых СПВ-резонаторов и кварцевых резонаторов на объёмных акустических волнах близки, что позволяет при проектировании автогенераторов использовать схожие с кварцевыми автогенераторами схемотехнические решения (трёхточечные схемы). Целью данной работы является исследование характеристик однопортовых СПВ-резонаторов и их взаимосвязь с уровнем спектральной плотности мощности фазового шума автогенераторов, разработанных на их основе, что в перспективе позволит оптимизировать схемотехнические решения и достичь минимального уровня шума [1].

В работе оптимизирован режим работы кремниевого биполярного транзистора, входящего в состав автогенератора, выполненного по схеме ёмкостной трёхточки, выведена зависимость между связью автогенератора с нагрузкой, стабильностью его работы, выходной мощностью и уровнем спектральной плотности мощности фазового шума выходного сигнала.

В результате исследования авторами были определены добротность, динамическое сопротивление, статическая ёмкость резонаторов на частотах 500 и 1000 МГц, получены экспериментальные характеристики спектральной плотности мощности фазового шума, выходной мощности и выявлена зависимость влияния параметров резонаторов на спектральную плотность мощности фазового шума.

Литература

1. **Лойко, В.А.** Экспериментальное исследование влияния характеристик однопортовых STW-резонаторов на фазовые шумы транзисторных СВЧ автогенераторов / В.А. Лойко, С.А. Доберштейн, Д.О. Даниленко // Радиотехника, электроника и связь : тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции (6–8 октября 2023 года, Омск, Россия). Омск: ОНИИП, 2023. С. ***–***.

Секция 3

УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

Radio signal processing devices

Председатель секции: к.т.н., доцент Остапенков Павел Сергеевич

Секретарь секции: Филатов Виктор Александрович

Ян Лин Пайнг, асп. ;
рук-ли. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. ;
Р.И. Поляк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ АИМ-МОДЕМ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА С НЧ-ПРОТОТИПОМ БЕССЕЛЯ

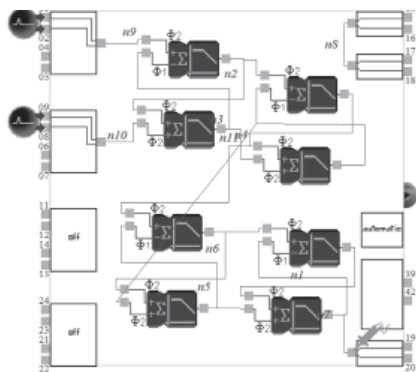


Рис. 1. Функциональная схема комплексного аналогового полосового фильтра на ПАИС

В докладе рассматриваются результаты разработки и реализации АИМ-модема на базе комплексного аналогового полосового фильтра с НЧ-прототипом Бесселя четвертого порядка. Звенья для фильтра рассчитываются с использованием САПР AnadigmDesigner2 и реализуются на программируемой аналоговой интегральной схеме (ПАИС) по методике, изложенной в [1]. Функциональная схема фильтра приведена на рис. 1.

С помощью такого фильтра формируются ортогональные сигналы, которые модулируются цифровыми данными. Работа АИМ-модема была прототипирована в среде MicroCap, а затем модем был изготовлен в виде экспериментального макета на базе двух ПАИС типа AN231E04 компании Anadigm [2].

В докладе приводятся результаты проведенного моделирования и экспериментальных измерений.

Литература

1. **Гребенко Ю.А., Аунг Ко Мин** Проектирование комплексных полосовых фильтров на базе программируемых аналоговых интегральных схем // Электросвязь, 2020, № 8.
2. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.anadigm.com/_doc/UM000231-U001.pdf

Ян Лин Пайнг, асп.;
 рук-ли. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
 Р.И. Поляк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ АИМ-МОДЕМ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА С НЧ-ПРОТОТИПОМ БАТТЕРВОРТА

В докладе рассматриваются результаты разработки АИМ-модема с использованием комплексного аналогового полосового фильтра с НЧ-прототипом Баттерворта четвертого порядка в модуляторе и микроконтроллера с цифровой обработкой передаваемых данных в демодуляторе. Модулятор рассчитывается с использованием САПР AnadigmDesigner2 и реализуется на программируемой аналоговой интегральной схеме (ПАИС) по методике [1]. Функциональная схема фильтра приведена на рис. 1.

С помощью такого фильтра формируются ортогональные сигналы, подвергаемые АИМ-модуляции цифровыми данными. В демодуляторе на базе микроконтроллера создается обратный цифровой КИХ-фильтр по методике [2]. Отладка программного обеспечения выполнялась в среде программирования Keil uVision.

Работа последовательной системы передачи данных моделировалась в среде MicroCap. Модем реализован в виде экспериментального макета с использованием ПАИС типа AN231E04 компании Anadigm [3] и микроконтроллере STM32F4. В докладе приводятся результаты проведенного моделирования и экспериментальных измерений.

Литература

1. **Гребенко Ю.А., Аунг Ко Мин** Проектирование комплексных полосовых фильтров на базе программируемых аналоговых интегральных схем // *Электросвязь*, 2020, № 8.
2. **Гребенко Ю.А., Поляк Р.И., Стариковский А.И., Куликов Г.В.** Цифровые методы линеаризации фазочастотных характеристик аналоговых фильтров // *Радиотехника и электроника*, 2019, том 64, № 2.
3. [**Электронный ресурс**] — Режим доступа: https://www.anadigm.com/_doc/UM000231-U001.pdf

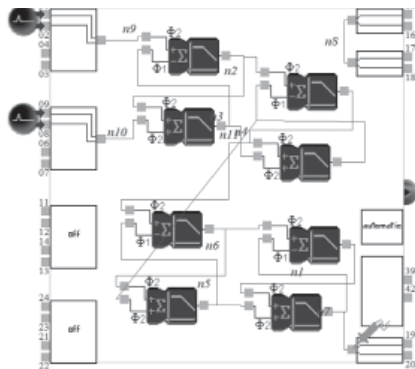


Рис. 1. Функциональная схема комплексного аналогового полосового фильтра на ПАИС

Н.В. Бахолдин, асп.;
рук. С.А. Бахурин, к.т.н., доцент (МФТИ, Москва)

ПОДАВЛЕНИЕ ИНТЕРМОДУЛЯЦИЙ 2 ПОРЯДКА В ПРИЕМНОМ ТРАКТЕ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА СВЯЗИ 4 И 5 ПОКОЛЕНИЯ

Интермодуляционные искажения в приемном канале мобильного терминала возникают из-за ограниченного уровня подавления дуплектора, что в сочетании с нелинейностью передающего и приемного трактов и неидеальностями частотного смесителя приводит к возникновению паразитных помех четного и нечетного порядков [1].

Запишем уравнение для принятого сигнала [2], по которому функционирует алгоритм подавления искажений:

$$y_{\text{прин}}[n] = \alpha_1 \frac{A_{\text{мал.усил}}}{2} y_{\text{НЧ}}^{\text{приемн}}[n] * \bar{h}_s[n] + \alpha_1 \frac{A_{\text{мал.усил}}}{2} v_{\text{НЧ}}[n] * \bar{h}_s[n] + \frac{\alpha_2}{2} |A_{\text{мал.усил}} A_{\text{усил}} (x_{\text{НЧ}}[n] * h_{\text{НЧ}}^{\text{утеч}}[n])|^2 \bar{h}_s[n]$$

где α_1 — коэффициент переноса вниз по частоте для синфазного и квадратурного каналов, α_2 — развязка между ВЧ и гетеродином, $A_{\text{усил}}$, $A_{\text{мал.усил}}$ — КУ УМ и маломощающего усилителя,

$y_{\text{НЧ}}^{\text{приемн}}$ — принятый сигнал на низкой частоте (НЧ),

$x_{\text{НЧ}}$ — переданный сигнал на НЧ,

$\bar{h}_s[n]$ — фильтр, $h_{\text{НЧ}}^{\text{утеч}}[n]$ — НЧ эквивалент фильтра-дуплектора.

Для компенсации интермодуляционных искажений в работе предложено использовать модификацию полиномиальной модели без памяти [3], коэффициенты которой подбираются алгоритмом наименьших квадратов. Применение предложенной схемы коррекции в приемном тракте мобильного терминала 4 и 5 поколения позволяет подавить паразитную помеху и снизить значение нормализованной среднеквадратичной ошибки NMSE на 19 дБ.

Литература

1. **B. Razavi**, Design considerations for direct-conversion receivers. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 44, No. 6, pp. 428-435, Jun 1997.
2. **A. Gebhard et al.**, A Robust Nonlinear RLS Type Adaptive Filter for Second-Order-Intermodulation Distortion Cancellation in FDD LTE and 5G Direct Conversion Transceivers. In IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 16 pages, Early Access, January 2019.
3. **Джиган В.** Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013.

Д.П. Бочарников, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ФИЛЬТРОВ НИЖНИХ ЧАСТОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАИС

Доклад посвящен реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) активных перестраиваемых фильтров нижних частот (ФНЧ). Перестраиваемые активные ФНЧ используются при реализации разнообразных функций: выделения и преобразования полезных сигналов; устранения помех, наводок и шумов; анализа частотного спектра сигналов и шумов; коррекции амплитудно-частотных характеристик усилителей; обеспечения устойчивости системы автоматического управления и регулировки. Поэтому проблема их проектирования продолжает оставаться актуальной. Следует отметить, что реализация таких устройств в SC-исполнении на программируемых аналоговых интегральных схемах (ПАИС) обладает рядом достоинств [1]: полностью дифференциальная архитектура, возможность получения прецизионных устройств обработки сигналов, простота сопряжения с аналоговыми и цифровыми устройствами, высокая температурная стабильность и т.д.

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с особенностями реализации перестраиваемых активных ФНЧ в базисе на переключаемых МОП-конденсаторах [2]. Предлагаются различные способы перестройки ФНЧ при реализации на ПАИС компании Anadigm, а именно: изменение частоты коммутации МОП-ключей, загрузка новой конфигурации из запоминающего устройства, перестройка посредством изменения уровня управляющего сигнала. Отметим, что использование ПАИС, позволяет решать проблему создания разнообразных аналого-дискретных устройств, кардинально снизив стоимость и габариты [3].

В докладе предложен пример построения в SC-базисе активного перестраиваемого ФНЧ в дифференциальном исполнении. Приводятся результаты физической реализации такого перестраиваемого ФНЧ на ПАИС в виде интегральной микросхемы частного применения.

Литература

1. **Богатырев Е.А.** Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 264 с.
2. **Торопчин Д.С.** Синтез перестраиваемых фильтров высокого порядка на переключаемых МОП-конденсаторах в однородном базисе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №2. С. 35–40.
3. **Торопчин Д.С.** Основы теории и схемотехники SC-устройств на базе программируемых интегральных схем: учебное пособие для вузов // Торопчин Д.С., Богатырев Е.А., Филатов В.А. — Москва: изд. МЭИ, 2018. — 76 с.

Н.В. Чумаков, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ SC-РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ АНАЛОГО-ДИСКРЕТНЫХ ФИЛЬТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАИС КОМПАНИИ ANADIGM

Доклад посвящен анализу особенностей реализации аналого-дискретных комплексных фильтров на переключаемых МОП конденсаторах (SC-реализации). В современных радиоприемных устройствах перенос спектра сигнала на низкую промежуточную частоту осуществляется с использованием квадратурных преобразователей частоты. На выходе такого преобразователя возникает комплексный сигнал. Если комплексный сигнал пропустить через комплексный фильтр, то можно подавить зеркальный канал приема. В настоящее время бурно развивается научно-техническое направление, связанное с разработкой телекоммуникационных систем, в том числе беспроводных, для дистанционной передачи информации на небольшие расстояния, например, Bluetooth и RFID. Важными узлами интерфейсной части приемников вышеприведенных систем являются комплексные полосовые фильтры. Диапазон рабочих частот таких устройств в большинстве случаев позволяет осуществить их практическую реализацию на переключаемых МОП-конденсаторах в виде так называемых SC-фильтров (switched capacitor filters) [1].

Следует отметить, что реализация устройств в SC-исполнении на ПАИС обладает рядом достоинств [2]: полностью дифференциальная архитектура, возможность получения прецизионных устройств обработки сигналов, простота сопряжения с аналоговыми и цифровыми устройствами, высокая температурная стабильность и т.д.

В докладе обсуждаются особенности SC-реализации аналого-дискретных комплексных фильтров на базе программируемой аналоговой интегральной схемы (ПАИС): выбор фазировки для коммутации МОП-ключей, использование полностью дифференциальной схемы построения фильтров и др. Рассматривается пример построения комплексного аналого-дискретного фильтра с учетом специфики SC-схемотехники. Приводятся результаты физической реализации на ПАИС в виде интегральной микросхемы частного применения.

Литература

1. **Торопчин Д.С.** Основы теории и схемотехники SC-устройств на базе программируемых интегральных схем: учебное пособие для вузов // Торопчин Д.С., Богатырев Е.А., Филатов В.А. — Москва: изд. МЭИ, 2018. — 76 с.
2. **Торопчин Д.С., Богатырев Е.А.** Синтез комплексных SC-фильтров при поддержке подсистем САПР Anadigm Designer 2 // Известия ВолгГТУ. 2015. № 6. — С. 149–155.

С.Х. Юсуфов, студ.; рук. А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТОКОЛА MIWI В РАЗРАБОТКЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ СБОРА ДАННЫХ

Локальные сетевые системы сбора данных позволяют собирать информацию от различных датчиков и передавать её на центральный сервер для анализа и обработки.

В данной работе использована важная особенность протокола MiWi, позволяющая реализовывать эффективную беспроводную локальную сеть с экономным энергопотреблением благодаря возможности работы устройств сети в режиме «сна».

Протокол MiWi базируется на спецификации IEEE 802.15.4 для физического и канального уровней и может работать с большим числом оконечных устройств (до 1024) [1].

Сеть MiWi строится на основе трех базовых типов устройств с различной функциональностью: PAN-координатора в качестве главного и полнофункционального узла, координатора и оконечного устройства.

В данной работе базовые компоненты беспроводной сети реализованы на микроконтроллерах (МК) PIC24FJ64GA104 с использованием радиочастотных модулей MRF89XA и температурных датчиков MCP9800.

Для связи с радиочастотными модулями используется последовательный синхронный интерфейс SPI, а для датчиков температуры интерфейс I2C. В рамках спецификации протокола MiWi используется рабочая частота радиочастотного модуля 868 МГц, что обеспечивает 10 каналов передачи со скоростью 20 кб/с [2].

Программное обеспечение для МК написано на языке C с использованием стека протокола MiWi [1].

Следует отметить, что применение протокола MiWi позволяет не только снижать энергопотребление в рассматриваемой сети, но и защищать передаваемые данные путем шифрования при максимальной длине пакета 127 байт.

В докладе представлены результаты разработки беспроводной локальной сети сбора данных на основе протокола MiWi.

Литература

1. [Электронный ресурс]. [https://microchipdeveloper.com/Стек протоколов MiWi™ для беспроводных сетей.pdf](https://microchipdeveloper.com/Стек_протоколов_MiWi™_для_беспроводных_сетей.pdf)
2. [Электронный ресурс]. [https://microchipdeveloper.com/Руководство по разработке программного обеспечения MiWi™.pdf](https://microchipdeveloper.com/Руководство_по_разработке_программного_обеспечения_MiWi™.pdf)

*Т.Б. Шарифуллин, студ.; рук. В.В. Афанасьев д.т.н., проф.
(КНИТУ-КАИ им А. Н. Туполева, Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ С ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫМИ СИГНАЛАМИ TSUCS

Применение инновационных методов обеспечения безопасности становится неотъемлемой необходимостью в настоящее время. Использование управляемой Three-Scroll Unified Chaotic System (TSUCS) для формирования шумоподобных сигналов относится к одному из перспективных подходов в защите каналов связи путем хаотической маскировки псевдослучайными сигналами [1].

Целью работы является моделирование управляемой TSUCS с оценкой эффективности её применения для обеспечения требуемой конфиденциальности цифровой передачи данных, и обоснованием инженерных рекомендаций по выбору параметров управляемой системы, формирующей маскирующие сигналы.

Исследована математическая модель управляемой TSUCS. С использованием программного пакета MATLAB разработаны средства моделирования блоков системы конфиденциальной связи с хаотической маскировкой псевдослучайными сигналами исследуемой многопестковой системы с хаотической динамикой. Проведена оценка параметров и характеристик псевдослучайных сигналов, формируемых на основе управляемой TSUCS. Выполнена сравнительная оценка пик-факторов псевдослучайных сигналов, соответствующих базовым переменным X, Y и Z управляемой TSUCS. Исследованы особенности формирования маскирующих 3-D сигналов управляемой многопестковой динамической системы с хаосом при вариации параметров TSUCS.

На основе проведенного моделирования обоснованы инженерные рекомендации по выбору базовых параметров управляемой системы TSUCS при разработке, исследовании и оптимизации системы конфиденциальной связи с хаотической маскировкой псевдослучайными сигналами.

Литература

1. **D. Li**, A three-scroll chaotic attractor; Department of Mathematics and Physics, Anhui University of Science and Technology, 2008, Т. 372 № 4, стр. 387–393.

Д.А. Улзытуев, студ.; рук. В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВСТРОЕННЫЙ МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ФОТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Фотодиодная матрица, установленная на спутник дистанционного зондирования Земли, способствует решению задач как мирного, так и военного характера. Пожары и взрывы генерируют интенсивное излучение в видимом и инфракрасном спектре, которое может регистрироваться матрицей фотодиодов [1] и преобразовываться в электрический сигнал, который необходимо усилить для повышения эффективности дальнейшей обработки и выделения полезных данных.

Цель работы состоит в разработке встроенного малошумящего усилителя для элементов фотодиодной матрицы космического назначения. В работе решались задачи разработки и сравнения схем усилителей на *JFET* полевом транзисторе с каналом *n*-типа [2] и на бескорпусном операционном усилителе. Проведено топологическое размещение усилителей на поле матрицы из дискретных фотодиодов. Разработаны компьютерные модели усилителей, проведено моделирование и анализ характеристик усилителей в программе Micro-Cap. Изготовлены и исследованы экспериментальные макеты одного канала с фотодиодом и усилителем на дискретных компонентах. Проведена проверка функционирования макетов.

В результате моделирования разработанных схем усилителей в программе Micro-Cap установлено, что коэффициент усиления схемы, основанной на операционном усилителе, составляет 32 дБ, а на *JFET*-транзисторе — 23 дБ, что удовлетворяет условиям поставленной задачи.

Конструктивной особенностью данного устройства является возможность масштабировать фотодиод со встроенным усилителем до фотодиодной матрицы, благодаря применению компонентов поверхностного монтажа и бескорпусных компонентов, минимальному расстоянию между компонентами на плате.

Литература

1. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приемники оптического излучения. Справочник. — М.: Радио и связь, 1987.
2. Борбелы Э. *JFET*-ы: Новый Рубеж // Audio Electronics, 1999, №5. Перевод с англ. под ред. А. Мельникова. — CleverAudio.

М.О. Пшеничников, студ.; рук. Л.Т. Сазонова, доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРОЙ ТЕПЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Доклад посвящен реализации системы управления камерой тепла на базе микроконтроллера ATtiny2313 [1] и цифрового датчика температуры DS18B20 [2]. Камеры тепла используются при испытаниях радиоэлектронной аппаратуры, а также для обучения студентов по направлению «Радиотехника». Поэтому проблема недорогой реализации системы управления камерой является актуальной. Следует отметить, что использование микроконтроллера и датчика температуры позволит автоматически управлять процессом выхода камеры на заданный температурный режим.

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с реализацией системы управления камерой тепла. В ее состав входят микроконтроллер ATtiny2313, цифровой датчик температуры DS18B20, семисегментный индикатор. ATtiny2313 управляет нагревом, после чего удерживает температуру в камере в необходимом настраиваемом диапазоне автоматически. Использование цифрового датчика температуры избавляет от необходимости применять аналого-цифровой преобразователь. Семисегментный индикатор используется для задания и отображения температуры. Система управления функционирует автоматически. Участие человека необходимо только при задании требуемой температуры в камере.

Разработка системы управления заключалась в проектировании ее электрической схемы, топологии печатной платы, изготовлении платы, программировании микроконтроллера и сборке конструкции. При сборке использовались вандалоустойчивые кнопки и защитный экран для индикатора. Разработанная система управления успешно функционирует в составе камеры тепла. В дальнейшем планируется создание лабораторной работы для студентов с использованием этой камеры.

Литература

1. 8-bit Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny2313/V [Электронный ресурс] URL: <http://www.gaw.ru/pdf/Atmel/AVR/attiny2313.pdf> (дата обращения: 26.11.2023).
2. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Электронный ресурс] URL: http://www.gaw.ru/pdf/Dallas_Sem/sensor/DS18B20.pdf (дата обращения: 26.11.2023).

Секция 4

АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Antennas and propagation

Председатель секции: к.т.н. Михайлов Михаил Сергеевич

Секретарь секции: Гладченко Александр Александрович

К.С. Харлампьев, асп.;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Антенны, работающие в метровом диапазоне, имеют габариты, соизмеримые с длиной волны, однако для сохранения аэродинамических характеристик летательных аппаратов излучатели телеметрических систем должны иметь малые размеры и низкий профиль.

В данной работе за исходный вариант взят излучатель типа бабочки на диэлектрической подложке. При использовании экрана, размеры хоть и уменьшаются, но полоса антенны резко сужается. Для уменьшения габаритов и сохранения рабочей полосы антенны между диэлектрической подложкой и экраном расположен слой радиопоглощающего материала, работающего в диапазоне частот антенны. Толщина радиопоглощающего слоя рассчитана эвристическим методом.

Для анализа разработанной модели в программе электродинамического моделирования рассчитаны следующие характеристики: частотные зависимости S_{11} и КСВН, картины распределения ближнего поля на различных частотах, картины дальнего поля, поляризационные характеристики.

Цель работы заключается в анализе характеристик полученной модели и формировании выводов о ее работоспособности.

Литература

1. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988.
2. **Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А., Рябов А.В., Головченко Е.В.** Антенны: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016.
3. **Панченко Б.А., Нефёдов Е.И.** Микрополосковые антенны. — М.: Радио и связь. 1986.
4. **Алексейчик Л.В., Курушин А.А.** Комплексное моделирование в программе CST SUITE. — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021.

К.С. Харлампьев, асп.;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА МАЛОЙ МАССЫ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ОТРАЖЕНИЯ БОКОВЫХ СТЕНОК БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЫ

При увеличении значения угла падения на поверхность радиопоглощающего материала пирамидального типа, мощность отраженной волны возрастает. Для улучшения работы безэховой камеры в работе промоделированы различные вариации РПМ и сконструированы опытные образцы.

В данной работе рассмотрены три типа состава материалов. Основными материалами в них являются: ферритовый порошок, карбонильное железо и пироуглеродная ткань различных номиналов поверхностного сопротивления.

В работе смоделированы дисперсионные зависимости диэлектрических характеристик, проведен расчет коэффициента отражения для различной толщины и составов. Также изготовлены опытные образцы некоторых вариантов для верификации расчетов.

Цель работы заключается в анализе характеристик полученных материалов и выбор наилучшего по радиотехническим характеристикам и массе.

Литература

1. **Гарин Б.М., Дьяконова О.А., Казанцев Ю.Н.** Физические свойства резистивных нитей и структур на их основе в СВЧ диапазоне // Журнал технической физики. — 1999. Т. 69. Вып. 1. — С. 104–108.
2. **Казанцев Ю.Н., Костин М.В., Крафтмахер Г.А. и др.** Искусственный парамагнетик // Радиотехника и электроника. — 1994. — № 10. — С. 1652–1655.
3. **Журавлев В.А., Суслиев В.И., Коровин Е.Ю., Доценко О.А.** Радиопоглощающие свойства содержащих карбонильное железо композитов на СВЧ и КВЧ // Электронный научный журнал «Исследовано в России». — 2010. — № 35. С. 404–411.
4. **Часных В.И., Фесенко И.П.** Объемный поглотитель СВЧ-энергии на основе нитрида алюминия и карбида кремния // Материалы и технология изготовления приборов СВЧ. — 2008. — № 2.
5. **Кондратьев Д.Н., Журавский В.Г.** Использование наноструктурных материалов для повышения надежности РЭА // Наноиндустрия. — 2008. — № 4.
6. **Воротницкий Ю.И.** Оптимальное проектирование многослойных поглотителей электромагнитных волн // Болг. физ. ж. — 1987. — Т. 14, № 4. — С. 378–385.

*П.М. Никитина, А.М. Игнатов, В.В. Трубецкой, студенты;
С.А. Серов, асп.; рук. М.С. Михайлов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИГНАЛОВ СТАНДАРТА UWB

В современном мире с развитием беспроводных технологий и ростом потребности в высокоэффективных антенных устройствах возникает задача создания малогабаритных и доступных антенн, применимых в навигации и радиолокации, способных удовлетворить требования к форме диаграммы направленности и одновременно обеспечивать широкую полосу пропускания. Ultra Wideband (UWB) технологии являются одним из самых передовых и инновационных направлений в области беспроводных коммуникаций. Антенны UWB отличаются своей способностью передавать и принимать сигналы на широком частотном диапазоне, который составляет от нескольких мегагерц до нескольких гигагерц, что позволяет передавать данные на большую дистанцию и с большей пропускной способностью. Проектирование антенн для UWB-технологий является сложной задачей, требующей специализированных знаний и опыта.

В данной работе представлено одно из решений этой проблемы с помощью создания патч-антенны с коаксиальным питанием и парой прямоугольных прорезей, создающих форму буквы «Е», для достижения широкополосного отклика. Используя специализированное ПО, была получена электромагнитная модель, способная отследить распространение электромагнитных полей, коэффициента усиления, диаграмму направленности, а также коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВн), по которым оценивается работоспособность антенны.

В результате была разработана печатная направленная антенна, предназначенная для использования в диапазоне частот от 6 до 7 ГГц. С учетом рассчитанных характеристик коэффициента стоячей волны по напряжению, диаграммы направленности, усиления и других параметров, данная антенна может применяться в технологии UWB.

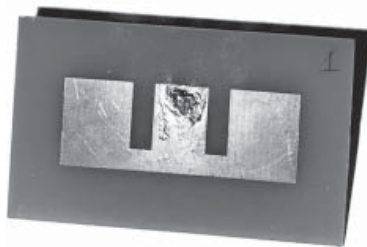


Рис. 1. Изготовленная печатная антенна

Литература

1. **Курушин А.А., Пластиков А.Н.** Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: Издательство МЭИ, 2011, 155 с.
2. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. Шк., 1998. — 432 с.: ил.

*А.М. Михайлов, С.В. Оробченко, К.В. Кочка, А.Д. Евсеев,
А.В. Павловский, студенты;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н.,
А. А. Комаров, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРОТЯЖЁННОГО АНТЕННОГО ПОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Стандартным инструментом по исследованию космоса радиотехническими методами являются радиотелескопы большого диаметра (32, 64 м). В настоящее время активно введутся исследования по замене больших таких антенн на протяжённое антенное поля из зеркальных антенн меньшего диаметра, такие антенны дешевле и проще в эксплуатации. Поскольку по построению такого поля расстояние между элементами много больше длины волны, то при эквидистантном расположении наблюдаются нежелательные дифракционные максимумы, поэтому актуальной является задача по неэквидистантной расстановке элементов, позволяющей существенно снизить уровень дифракционных максимумов и количество антенн при незначительном расширении главного лепестка [1].

Методом оптимизации структуры неэквидистантной антенной решётки является перебор возможных расстановок, ввиду отсутствия аналитического решения. Одним из методов перебора является генетический алгоритм. Выбор генетического алгоритма для поиска размещения антенных элементов обусловлен меньшим числом итераций, необходимых для получения оптимального (субоптимального) решения, чем требуется алгоритму полного перебора всех размещений антенных элементов по сетке с определённым шагом.

В рамках работ по оптимизации геометрической структуры была разработана программа для пакета Matlab/GNU Octave для построения сечений диаграммы направленности (ДН) разреженной антенной решётки, случайной антенной решётки, неэквидистантной антенной решётки с оптимизацией её структуры с помощью генетического алгоритма. Уровень дифракционных максимумов удалось снизить на 6 дБ с использованием 40 антенных элементов на частоте 100 МГц.

Литература

1. **Дубовицкий, М.А.** Оптимизации конформных антенных решеток параллельным алгоритмом GA/PSO / М.А. Дубовицкий, М.С. Михайлов // Распространение радиоволн: Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции, Калининград, 28 июня — 03 2021 года. — Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. — С. 861–866.

В.А. Сучков, студ.;

рук. М.И. Сугак, к.т.н., доц. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ АНТЕНН С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В ТЕМ КАМЕРЕ

В задачах радиомониторинга, пеленгации и радионавигации актуальным является проектирование низкопрофильных электрически малых (ЭМА) антенн с изотропной или кардиоидной диаграммой направленности (ДН) в азимутальной плоскости. Такие формы ДН могут быть получены в антенных решетках, состоящих из двух-четырёх элементов средствами многоканального управления (как в аналоговой, так и в цифровой формах).

В данной работе рассмотрены способы получения изотропной ДН в азимутальной плоскости антенн средневолнового (СВ) и коротковолнового (КВ) диапазонов на основе ферритовых стержней. Управление формой ДН осуществляется с помощью цифрового четырёхканального приёмника с возможностью независимой регулировки амплитудно-фазового распределения в отдельных каналах [1].

В работе представлены результаты исследования вариантов конструктивного исполнения антенной системы, состоящей из двух, трёх и четырёх элементов, приведено сравнение их характеристик. Измерения формы ДН и частотной зависимости коэффициента усиления выполнялись в условиях ТЕМ камеры с применением методики, описанной в работах [2, 3].

Литература

1. **Balanis C.A.** Antenna theory. Analysis and design 4th Edition. John Wiley & Sons: 2016.
2. **Сучков В.А., Антонов Ю.Г., Балландович С.В., Любина Л.М., Сугак М.И.** Исследование электрически малых антенн в ТЕМ камере // Антенны и распространение радиоволн: сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2023. с. 127–129.
3. **Сучков В.А., Антонов Ю.Г., Балландович С.В., Любина Л.М., Костиков Г.А., Сугак М.И.** Измерение характеристик ферритовых антенн КВ/УКВ диапазона в ТЕМ-камере // Сборник докладов XII Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». Санкт-Петербург: 2023 г. с. 504–507.

А.Н. Зиборов, студ., рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА СВЯЗАННЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

Фильтры различного типа, являются важнейшими компонентами в радиолокации, системах связи и телевидении. В настоящее время различают: фильтры нижних частот (ФНЧ), фильтры верхних частот (ФВЧ), полосно-пропускающие фильтры (ППФ) и полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ).

Особое место в радиолокации занимают полосно-пропускающие фильтры (ППФ), основной задачей которых является пропускать составляющие спектра сигнала, находящиеся в некоторой полосе частот, и подавлять составляющие спектра, которые за пределами этой полосы частот.

Сегодня существует множество способов реализации данного фильтра. Одним из таких является связанная микрополосковая линия передачи. При проектировании данного фильтра используется классический метод синтеза на основе фильтров-прототипов нижних частот (НЧ). Для этого необходимо знать следующие параметры фильтра: центральная частота, полоса пропускания, количество звеньев, тип аппроксимации (Чебышевская, Баттерворта и Бесселя), материал и толщина диэлектрика, материал и толщина проводника.

Литература

1. *Microwave_Engineering_David_M_Pozar_4ed_Wiley_2012.*
2. **Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р.** Проектирование и расчёт СВЧ элементов на полосковых линиях. М., «Советское радио», 1972.

*А.М. Михайлов, Р.С. Емельянов, студенты;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАДИОПРИЁМНИК ДЕТЕКТОРНЫЙ РГС. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В 2023 году радиотехнический факультет МЭИ отмечает 85-летний юбилей, исследование принципов работы детекторного приёмника РГС приурочено к этому празднику. Данный приёмник является одним из первых поступлений в Московский Политехнический музей.

При изучении этого прибора были рассмотрены следующие этапы развития радиотехники: создание первых детекторов — волноуказателей, а именно когерера (работы Эдуарда Бранли, Оливера Лоджа, Александра Семёновича Попова вместе с Дмитрием Семёновичем Троицким и Петром Николаевичем Рыбиным); история развития детекторов (были рассмотрены магнитные электролитические кристаллические детекторы)[1]. Также была рассмотрена история завода-изготовителя данного приёмника — «Русского Общества Беспроволочных Телефонов и Телеграфов», и основателя этого завода — Семёна Моисеевича Айзенштейна, а также история развития серии приёмников РГС [2].

Этот приёмник выпускался в 1912–1914 гг., он использовался в войсках на флоте и суше, как говорили современники, он был прост в настройке и эксплуатации, не имел внешних проводов и каких-либо гибких соединений. Это делало приёмник очень удобным и надёжным для использования. Данный прибор указал направление развития радиосвязи — упор на надёжность.

Литература

1. **Муравьёв Л.П.** Курс радиотелеграфного дела. г. Петроград. 1919.
2. **Глуценко А.А.** Место и роль радиосвязи в модернизации России (1900–1917 гг.). СПб.: ВМИРЭ, 2005. — 13–40, 78–91; 193 Библ. 652 наим.

*А.М. Игнатов, П.М. Никитина, В.В. Трубецкой, студенты;
С.А. Серов, асп.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОЗДАНИЕ ПЕЧАТНОЙ АНТЕННЫ UWB-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ЛОКАЦИОННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

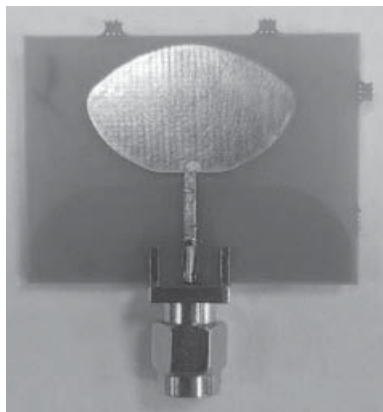


Рис. 1. Изготовленная печатная антенна

С развитием современных технологий в области радиотехники и электроники, появилась потребность в более эффективных и экономичных решениях для приемных и передающих устройств, а также в сферах радиолокации и радионавигации. Наиболее острой, стоит задача разработки печатной антенны с рабочей частотой 6,5 ГГц, которая открывает новые перспективы в области беспроводных коммуникаций и местоположения объектов, тем самым представляет эффективное решение для задач локации внутри помещений.

В настоящей работе было произведена разработка трехмерной геометрической модели печатной антенны UWB-диапазона, учитывая её размеры и форму, с помощью специализированного программного обеспечения получили электромагнитную модель, способную отследить распространение электромагнитных полей, коэффициента усиления, диаграмму направленности, а также коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВн). В результате численного эксперимента получены картины электромагнитных полей, проанализированы S-параметры печатной антенны для заданного частотного диапазона и разных параметров антенной структуры.

В процессе проведения анализа была разработана численная модель печатной антенны UWB-диапазона с учетом указанных габаритов. Произведено сопоставление численных результатов с экспериментальными данными характеристик антенны, что подтверждает соответствие предложенных моделей.

Литература

1. **Курушин А.А., Пластик А.Н.** Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: Издательство МЭИ, 2011, 155 с.
2. **Курушин А.А.** Школа проектирования СВЧ устройств в CST Studio Suite // Международный журнал экспериментального образования. — 2015. — №. 8-2. — С. 238–241.

*В.А. Борисов, асп.; В.Н. Шепов, к.ф.-м.н., доц.
(ФИЦ КНЦ СО РАН, СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск)*

ПОДАВЛЕНИЕ МНОГОЛУЧЕВОСТИ В МАЛОГАБАРИТНЫХ ЩЕЛЕВЫХ ПОЛОСКОВЫХ АНТЕННАХ ГНСС

Хорошо известно, что в антеннах высокоточного позиционирования по сигналам Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) определяющий вклад в ошибку позиционирования вносит многолучевость. Поглотитель, применяемый в малогабаритных щелевых полосковых антеннах вытекающей волны в виде кольца между излучателем антенны и экраном, предотвращает не только прием навигационных сигналов ГНСС микрополосковой линией в обход щелей излучателя, но и подавляет кросс-поляризацию, что повышает стойкость данных антенн к многолучевости. Однако при этом подавляется и правая круговая поляризация.

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния СВЧ поглотителя на основные технические характеристики малогабаритных щелевых полосковых антенн, и, в конечном итоге, на измеренную относительную точность позиционирования антенн по сигналам ГНСС.

Расчет зависимости коэффициента усиления, коэффициента эллиптичности, уровня кросс-поляризационной развязки от ширины СВЧ поглотителя осуществлялся по разработанной трехмерной модели антенны. Далее три антенны подключались к угломерному приемнику ГНСС и проводились измерения относительной точности позиционирования одной антенны относительно двух других по углам азимута, крена и тангажа, а также в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от ширины СВЧ поглотителя.

В результате, при оптимизированной ширине СВЧ поглотителя измеренные в зените характеристики антенны составили: коэффициент усиления 3,2 дБ, коэффициент эллиптичности 1,2 дБ, кросс-поляризационная развязка свыше 23 дБ. Среднеквадратическое отклонение относительной точности позиционирования составило: по вертикали — 1,65 мм; по горизонтали — 1,95 мм.

Публикация выполнена при финансовой поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» и общества с ограниченной ответственностью научно-производственной фирмы «Электрон» в рамках проекта «Создание малогабаритных широкополосных активных антенн для высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS/Galileo/BeiDou, не уступающих по своим техническим характеристикам лучшим мировым аналогам».

К.С. Сычев, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

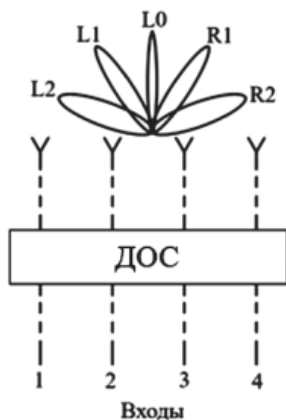


Рис. 1. Соответствие входов антенны и формируемых ДН

Работа посвящена исследованию многолучевых антенных решеток (МАР) для применения в системах радиолокации с целью обнаружения и сопровождения большого числа объектов. Рассмотрены принципы построения, особенности и области применения многолучевых антенн, а также проведены расчет и моделирование МАР.

Диаграммообразующая схема (ДОС) строилась на основе матрицы Батлера из 3-дБ квадратных мостов и фазовращателей [1–3]. Такая схема не требует большого числа направленных ответвителей и обладает широкополосностью за счет равенства геометрических путей распространения волны от входов антенны к излучателям.

В качестве антенного элемента был выбран целевой излучатель Вивальди, который способен работать в широкой полосе частот. Широкополосность излучателя позволяет использовать его в системах, решающих различные задачи: радиолокация, радиоэлектронная борьба, радиотехническая разведка и другие [3].

В результате математического моделирования в среде MATLAB/GNU Octave [4] построены диаграммы направленности (ДН) МАР. Также получены требуемые характеристики излучателей Вивальди и элементов ДОС. Модели направленных ответвителей, фазовращателей и антенных элементов были объединены в трехмерную структуру, для которой получены характеристики направленности в среде электродинамического моделирования [5].

Литература

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. — М.: Высшая школа, 1988.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975.
3. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. — М.: Радиотехника, 2012.
4. Корогодин И.В. Диаграмма направленности антенной решетки. Лабораторная работа № 2: методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2014.
5. Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

А.А. Новиков, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ МЕСТНОСТИ

Расчет распространения радиоволн в условиях урбанизированной среды связан с задачей расположения антенн базовых станций и расчета зон максимального покрытия с учётом потерь, возникающих из-за влияния зданий на распространение электромагнитного поля [1, 2]. Используются различные пути решения этой задачи: методика Окамура – Хата, модель Уолфиш-Икегами и т.д. В работе применяется метод факторизации [3]. Однако при анализе поведения электромагнитного поля необходимо решать проблему отсутствия информации о параметрах среды. С этой целью целесообразно использовать программы, имеющие данные геометрии застройки.

В докладе приводятся результаты моделирования процессов распространения радиоволн методом двумерного параболического уравнения с использованием модели участка городской местности на основе сервиса «OpenStreetMap». Показаны результаты верификации методов параболического уравнения и геометрической оптики, а также результаты верификации двух дискретных преобразований Фурье: синусного и косинусного.

Литература

1. V.A. Permyakov, M.S. Mikvailov and E.S. Malevich. Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2167–2175.
2. Б.М. Петров. Электродинамика и распространение радиоволн : Учебник для вузов по направлению «Радиотехника» и специальностям «Радиотехника», «Радиофизика и электроника», «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» — 3-е изд., стереотипное. — М.: Горячая Линия-Телеком, 2014. — 558 с.
3. Levy M. Parabolic equation methods for electromagnetic waves propagation. London, UK, IEE, 2000.

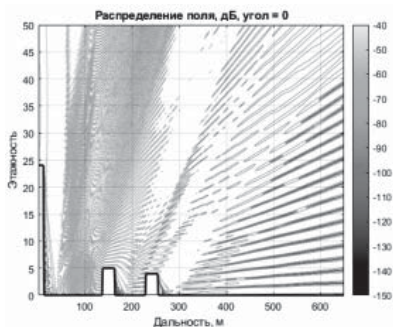


Рис. 1. Трехмерная модель участка городской местности

И.А. Громов, асп.;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В ОБТЕКАТЕЛЯХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Метаматериалы — это искусственно сформированные и особым образом структурированные среды, обладающие электромагнитными свойствами, сложно достижимыми технологически либо не встречающимися в природе. Метаматериалы классифицируются в зависимости от значений их диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемостей на четыре основных вида: дважды позитивные ($\epsilon > 0, \mu > 0$), ϵ -негативные ($\epsilon < 0, \mu > 0$), μ -негативные ($\epsilon > 0, \mu < 0$) и дважды негативные ($\epsilon < 0, \mu < 0$). В работе рассматриваются ϵ -негативные и дважды негативные метаматериалы.

Радиопрозрачный обтекатель выполняет функцию защиты бортовой радиолокационной станции (БРЛС) от воздействий окружающей среды. Помимо этого, стенки РПО должны быть радиопрозрачны, чтобы оказывать минимальное влияние на радиотехнические характеристики (РТХ) БРЛС таких как: ослабление энергии, увеличение уровня боковых лепестков диаграммы направленности и появление ошибок пеленга. В РПО применяются дважды негативные метаматериалы, которые обладают отрицательным коэффициентом преломления, что позволяет компенсировать ошибки пеленга.

Кроме этого, радиолокационная заметность является важной характеристикой летательного аппарата, которая описывается зависимостью значений эффективной площади рассеяния (ЭПР) от угла падения волны. Большой вклад в эту зависимость вносит антенна БРЛС и для снижения ее заметности используются частотно-избирательные структуры (ЧИС), которые выполняют функцию полосно-пропускающего фильтра. При разработке ЧИС используются ϵ -негативные метаматериалы, которые обладают свойством пропускания электромагнитных волн на определенных частотах, а на других частотах электромагнитные волны быстро затухают по экспоненте.

Цель работы заключается в оценке влияния ϵ -негативных и дважды негативных метаматериалов на радиотехнические и радиолокационные характеристики антенны БРЛС, установленной под радиопрозрачным обтекателем, при помощи проведения электродинамического моделирования.

Литература

1. **Каплун В.А.** Обтекатели антенн СВЧ (Радиотехнический расчет и проектирование). — М.: Советское радио, 1974.
2. **Engheta N., Ziolkowski R.W.** Metamaterials: Physics and Engineering Explorations. — Wiley-IEEE Press, 2006.

В.Д. Угничев, асп.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОЧАСТОТНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С АВТОСОПРОВОЖДЕНИЕМ

Применение многочастотных облучателей зеркальных антенн повышает эффективность антенной системы расширением числа объектов, с которыми может быть произведен сеанс связи.

Рассматриваемый облучатель представляет собой набор кольцевых антенн разных диапазонов [1], [2]. Каждая антенна представляет собой тонкостенный металлический цилиндр с плоской кольцевой насадкой. Насадки выполнены из диэлектрика или металла, имеют различное расположение относительно цилиндра. В цилиндре прорезаны прямоугольные окна с узкими возбуждающими щелями между окном и кромкой цилиндра. Окон может быть 2 или 4 для возбуждения требуемой круговой поляризации, они расположены так, что угол между радиусами, соединяющими ось металлического цилиндра с осями щелей равен 90 градусов. Для разностных колец углы сдвига окон различаются и равны 45 и 135 градусов соответственно.

В работе рассматривается процесс проектирования, и оптимизации облучателя по критерию максимального значения КИП. Рассмотрен процесс конструирования, изготовления и радиотехнических измерений облучателя в отдельности и в составе зеркальной антенны.

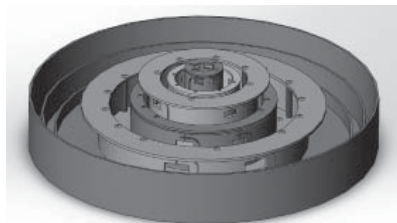


Рис. 1. Модель облучателя

Литература

1. **V.D. Ugnichev, B.L. Kogan, I.V. Belkovich, V.N. Seleznyov**, “Multi-band Reflector Antenna Feed Design Based on Coaxial Structure,” 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059239.
2. **Селезнев В.Н., Белькович И.В., Коган Б.Л.** Расчет и моделирование облучающего устройства для наземных антенн, входящих в состав комплексов системы «Коспас-Сарсат» // Антенны. 2015. № 9 (220) С. 23–26.

*Д. Д. Денисов, студ. (НИУ «МЭИ»); А. В. Подберезный, асп. (МАИ);
рук. Р. Н. Ипанов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД К РАЗРАБОТКЕ АНТЕННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В связи с непрерывным развитием радиоэлектронных устройств к антенным устройствам предъявляются все более жесткие требования. Как следствие, с появлением новых задач приходят новые инструменты для их решения. Одним из таких инструментов является теория характеристических мод (ТХМ), разработанная в 1963 [1] Гарбачом, и получившая развитие в работах Харрингтона [2]. Несмотря на появление ТХМ в 1963 году, использование ТХМ в антенной технике началось лишь в последнее десятилетия [3]. Преимуществом ТХМ является возможность расчета антенной структуры без схемы возбуждения.

На примере метаповерхности, возбуждаемой Е-патчем, показано применение ТХМ. Рабочая частота выбрана 5,2 ГГц. Результатом ТХМ являются модальные значения, по которым делается вывод о рабочей частоте, распределение модальных полей, модальные диаграммы направленности. С помощью ТХМ оптимизированы размеры и форма метаповерхности в соответствии с заданными параметрами.

С целью подтверждения выбранных размеров проведено электромагнитное моделирование методом конечных разностей во временной области. Результат электромагнитного моделирования совпадает с результатом, полученным с помощью ТХМ. Ширина диаграммы направленности 160°, коэффициент усиления 2 дБ.

Литература

1. **Garbacz, R.J.** Modal expansions for resonance scattering phenomena. // Proceedings of the IEEE. 53 (8): 856–864.
2. **Harrington, R, Mautz, J.** Theory of characteristic modes for conducting bodies // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 19 (5): 622–628.
3. **M. Cabedo-Fabres.** The Theory of Characteristic Modes Revisited: A Contribution to the Design of Antennas for Modern Applications// IEEE Antennas and Propagation Magazine 49(5):52–68.

Секция 5

РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Radarlocation and TV technologies

Председатель секции: к. т. н., доцент Комаров Алексей Александрович

Секретарь секции: Юмашев Александр Михайлович

А.М. Масликов, студ.; рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф. (ПГТУ, Йошкар-Ола)

ПРИМЕНЕНИЕ SDR ДЛЯ ПРИЕМА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ЦИФРОВОГО СТАНДАРТА DVB-T2

Цифровое телевидение является современным и эффективным способом передачи телевизионных сигналов, который заменяет аналоговое телевидение. Оно обеспечивает более высокое качество изображения и звука, а также позволяет передавать большее количество телевизионных каналов. Важным аспектом в цифровом телевидении является прием транспортного потока, основывающегося на стандарте DVB-T2 [1].

В случае приема транспортного потока цифрового стандарта DVB-T2, SDR может использоваться для декодирования сигнала и обеспечения стабильного приема телевизионных каналов.

Software Defined Radio (SDR) — это технология, которая позволяет создать радиосистему с использованием программного обеспечения, вместо использования специализированных аппаратных компонентов.

Реализация приемника транспортного потока стандарта DVB-T2 включает в себя несколько ключевых компонентов: обнаружение символов OFDM модуляции. Демодуляция опорных сигналов, таких как: QAM или QPSK. Защитный интервал, который представляет собой временной интервал между символами OFDM.

Для декодирования данных используется алгоритм Витерби, который позволяет корректировать ошибки и извлекать исходную информацию из искаженного сигнала. Кроме того, используются сверточные коды и коды Рида-Соломона, которые обеспечивают дополнительную защиту от ошибок и обеспечивают надежность передаваемых данных.

После декодирования данных используется стандарт MPEG-2, для сжатия и кодирования аудио и видео сигналов [2].

В программе GnuRadio была создана структурная схема приемника транспортного потока с использованием SDR устройства Hack RF One. Наблюдалось сигнальное созвездие модуляции QAM-16, спектр OFDM и был получен транспортный поток.

Литература

1. Основы цифрового телевидения стандарта DVB-T: учебное пособие / А.И. Одинец, А.Н. Бурдин. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. — 76 с.
2. Цифровое телевизионное вещание: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Мамчев. — Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2014. — 448 с.

А.С. Кофанов, асп.;
рук. В.М. Нуждин, к.т.н. доц. (НИУ «МАИ»)

УЛУЧШЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ДОРОГИ С ПОМОЩЬЮ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДАННЫХ В МИМО-АРЛС

В настоящее время одной из главных задач автомобильного радара является, определение опасных объектов на траектории движения транспортного средства и определение положения автомобиля на проезжей части, которое может решаться за счет определения границ проезжей части.

Целью данного исследования является разработка и оценка методов определения границ дороги и уточнение углового положения неподвижных объектов за счет методов Допплеровского обужения луча (ДОЛ). В данной работе рассмотрена проблема, связанная с улучшением определения углового положения границ дороги за счет комплексирования данных оценки углового положения целей.

В работе произведен анализ параметров радара [1] необходимых для обеспечения мониторинга дорожной ситуации и определения положения неподвижных объектов за счет ДОЛ.

В ходе работы было разработано:

1. Модель формирования ЗС для МИМО-АРЛС, состоящего из 3-х передающих и 4 приемных каналов.
2. Модель особенностей прохождения принятого сигнала через приемный тракт РЛС.
3. Реализованы алгоритмы цифровой обработки сигнала.
4. Модель окружающей обстановки автомобиля, основанная на независимых случайных отражениях от объектов и прилегающей поверхности к дорожному полотну.
5. Разработан алгоритм определения границ дороги с использованием данных ДОЛ.

Выводом данной работы является алгоритм определения границ дороги по данным МИМО-АРЛС с использованием ДОЛ. Предоставлена оценка работоспособности и СКО ошибки оценки положения границ дороги алгоритма с использованием реальных и моделируемых данных.

Литература

1. **Ананенков А.Е., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Скосырев В.Н.** Высокоинформативные РЛС малой дальности // изд. МАИ, Москва 2018 г.

А.С. Марков, студ.;
рук. В.Т. Хисамов, ст. преп. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИЧЕСКОЙ БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Бортовые радиолокационные системы с синтезированием апертуры (БРЛСА), относящиеся к классу радиолокаторов «воздух — поверхность», обеспечивают решение широкого круга задач, связанных с исследованием земной поверхности, обеспечением безопасности полета носителя на малых высотах и применением в составе бортовых управляемых и неуправляемых средств [1]. Синтезирование апертуры — метод обработки сигналов, позволяющий повысить поперечную линейную разрешающую способность радиолокатора относительно направления диаграммы направленности антенны (ДНА) и улучшить детальность радиолокационного изображения местности [2]. В рамках настоящей работы предлагается модель для определения параметров при построении БРЛСА с полосовым (классическим) обзором, в котором ДНА располагается под 90° к вектору скорости летательного аппарата.

На начальных этапах разработки БРЛСА возникают трудности, связанные с расчётами и выбором параметров. Для решения данной проблемы предложена математическая модель, которая позволяет на основе желаемых (известных) характеристик получить параметры, необходимые для построения БРЛСА, таких как максимальная и минимальная дальность работы, физические размеры антенны и ширины ДНА в азимутальной и угломестной плоскостях, длительность зондирующего импульса и многих других. Результаты работы предлагаемой модели позволяют сократить время на построение БРЛСА, а также выполнить оценку реализуемости данной системы и в случае необходимости скорректировать входные параметры.

Предлагаемая модель реализована в пакете прикладных программ «Matlab». После сравнительного анализа результатов моделирования и экспериментально полученных данных планируется уточнение модели, в частности учёт погодных условий. После уточнения модели предполагается масштабирование расчётов под другие методы обзора БРЛСА.

Литература

1. **Верба В.С., Гаврилов К.Ю., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г., Филатов А.А.** Радиолокация для всех. — М.: Техносфера, 2020. — 416 с.
2. **Бакулев П.А.** Радиолокационные системы. — М.: Радиотехника, 2015. — 341 с.

О.В. Глухов, асп.; Р.Р. Вахитов, А.В. Павловский,
Г.Н. Тулин, студенты; рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПАССИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ

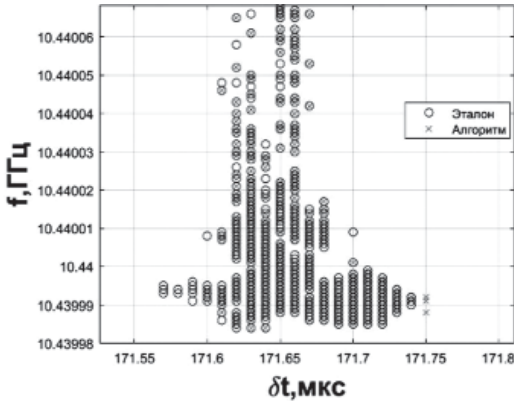


Рис. 1. Сравнение результата работы алгоритма и эталона, результата, полученного специалистом, на частотно-длительностной диаграмме

тем внедрения научно-технических решений, основанных на использовании технологий машинного обучения, для решения задач кластеризации объектов.

Данный доклад посвящен созданию алгоритма кластеризации для задачи распознавания сигналов посредством МП РЛС.

Как итог реализован и протестирован алгоритм кластеризации радиолокационных импульсов, в основе которого лежат методы статистической обработки данных и алгоритм кластеризации DBSCAN. Были исследованы и выбраны показатели качества работы алгоритма.

Литература

1. Тагузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. — М.: Радиотехника, 2009. — 432 с.: ил. (Научная серия “Нейрокомпьютеры и их применение”).

На данный момент многопозиционные пассивные радиолокационные станции (МП РЛС) обязаны обрабатывать большие объемы принимаемых сигналов в краткие сроки при высокой динамике окружающей среды. Ручная обработка такого объема данных оператором является недостаточно эффективной [1]. Вследствие этого перед разработчиками комплекса средств радиотехнической разведки ставится актуальная задача автоматизации процессов обработки радиолокационной информации путем

Секция 6

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Optoelectronic instrumentation

Председатель секции: к.т.н., доцент Поройков Антон Юрьевич

Секретарь секции: Шматко Екатерина Викторовна

*Г.А. Юрочкин, студ.; рук. Ю.Р. Винецкий, к.ф.-м.н.
(АО ПО «УОМЗ» филиал Урал-Геофизика, Москва)*

СПОСОБ ОЦЕНКИ РАКУРСА НАБЛЮДЕНИЯ УДАЛЕННОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ИНФОРМАЦИИ БОРТОВОГО ТЕПЛОПЕЛЕНГАТОРА

Рассматривается ситуация, в которой бортовая тепlopеленгационная система самолета (ТПС) обнаруживает летательный аппарат (ЛА) на таком расстоянии, когда его размеры сопоставимы с размерами пиксела фотоприемной матрицы. Это исключает возможность идентификации курса, под которым данный ЛА движется по отношению к самолету-носителю ТПС, по форме изображения ЛА, фиксируемого матрицей. Вместе с тем очевидно, что даже приблизительная оценка наблюдаемого ракурса обнаруживаемого объекта, если таковая может быть произведена достаточно быстро, не дожидаясь такого сближения с объектом, когда произойдет «образмеривание» его изображения, — представляет значительный интерес.

В работе рассматривается способ такой оценки, основанный на анализе соотношения амплитуд двух сигналов, регистрируемых ТПС в двух спектральных полосах-поддиапазонах средневолнового (3–5 мкм) ИК атмосферного «окна прозрачности». Излагается принцип различения переднего/заднего ракурсов обнаруживаемого ЛА в условиях, когда его изображение имеет пиксельный (субпиксельный) размер. Получены количественные значения критерия, на основе которого следует принимать решение о том или ином курсе движения объекта по отношению к носителю ТПС. Выполнены оценки длительности интервала времени, в начале и конце которого необходимо фиксировать отсчеты сигналов, связанных с объектом: показано, что применительно к реалистичным ситуациям оценка наблюдаемого ракурса ЛА может быть произведена за время не более десяти секунд, что значительно меньше времени ожидания «образмеривания». Кратко обсуждаются практические варианты технической реализации ТПС и системы обработки информации на основе современных охлаждаемых матричных фотоприемников и высокоразрядных АЦП.

Литература

1. **Филиппов В.П., Макаров А.С., Иванов В.П.** Оптическая погода в нижней тропосфере. Издательство: Дом печати, 1998. 183 с.
2. **Abreu L.W., Anderson G.P.** The MODTRAN 2/3 and LOWTRAN 7 Model. 1995. 268 p.
3. **Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А.** Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. Издательство: Физмалит, 2010. 125 с.

А.А. Полев, студ.; рук. М.В. Сапронов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АНСАМБЛЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

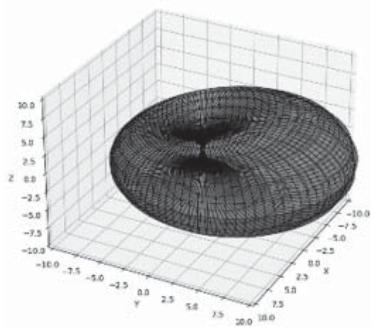


Рис. 1. Модель 3D индикатрисы

Задача рассеяния света на частице произвольной формы в общем виде на сегодняшний день остается нерешенной. Однако, существует множество частных решений, например, решена задача рассеяния плоской произвольно поляризованной электромагнитной волны на изотропной сферической частице Г. Ми (1908 г). Впоследствии разными авторами было получено решение задачи рассеяния света для частиц более сложной формы. Отдельные исследования были направлены на составление алгоритмов адаптации решения Г. Ми для практического применения [1].

Актуальность темы обоснована, в том числе, широким распространением метода статического рассеяния света для диагностики высокодисперсных сред. В Российской Федерации приборы для диагностики характеристик наночастиц активно развиваются последние 5–7 лет. Одна из методик решения обратной задачи данного метода основана на сравнении экспериментальной и модельных индикатрис рассеяния света.

В настоящей работе представлены алгоритм и программа расчета и моделирования 2D и 3D индикатрис рассеяния света на одной изотропной и однородной диэлектрической сферической частице, а также на ансамбле полидисперсных сферических частиц. На рисунке 1 представлен пример 3D индикатрисы рассеяния света с параметрами $m = 1$, $x = 0,8$.

С помощью разработанной программы было исследовано влияние показателя преломления, длины волны излучения и функции распределения частиц по размерам на характер индикатрисы рассеяния.

Ключевым результатом работы является возможность создания базы моделей индикатрис рассеяния, которая затем может быть использована для решения обратной метода статического рассеяния света путем сравнения моделей и экспериментальных данных.

Литература

1. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами: пер. с англ. / Д. Дейрменджан. М.: Мир, 1971. 165 с.
2. Полев А.А. Исследование статического рассеяния лазерного излучения в водном растворе наночастиц // Радиотехника, электроника и энергетика, 2003. С. 79.

М.Г. Иванов, студ.; рук. К.А. Вытовтов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО N×N КОММУТАТОРА ДИАПАЗОНА 1310 Нм, 1550 Нм

Актуальной задачей развития современных фотонных систем связи является повышение их быстродействия и пропускной способности [1–2]. Во многих случаях быстродействие таких систем ограничено скоростью работы элементов коммутации, которые в свою очередь ограничены быстродействием внешних электронных управляющих устройств [2].

Авторами предложен оптический N×N коммутатор с децентрализованной системой управления и значительно лучшим быстродействием. Это реализовано за счет коммутации на оптическом уровне, без преобразования информационного оптического сигнала в электрический.

Принцип работы коммутатора основан на частотно-временном разделении каналов. Управляющие сигналы из заголовка оптического пакета и информационный сигнал передаются одновременно в оптическом потоке на разных частотах, при этом каждый пакет — в своем временном интервале для исключения блокировок коммутатора. Номер выхода задается комбинацией управляющих сигналов, количество которых определяется числом выходов коммутатора. Структурно коммутатор состоит из оптического мультиплексора, матрицы переключающих элементов, фильтров Брэгга, оптических вентилях, фокусирующей линзовой системы, локального формирователя управляющих сигналов. Переключающий элемент представляет собой электрически управляемое зеркало, состоящее из множества тонких пленок ниобата лития (LiNbO_3) и немагнитного диэлектрика.

В работе проведен расчет оптических элементов коммутатора. Представлены результаты численного моделирования, показывающие возможность физической реализации устройства. Кроме того, рассчитаны потери в системе, дана энергетическая оценка коммутатора.

Литература

1. **Барабанова Е.А., Вытовтов К.А., Барабанов И.О., Мальцева Н.С.** Модель и алгоритм работы оптического коммутатора 4 × 4 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. №2. С. 48–55. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-2-48-55.
2. **Fukuchi Y., Maeda J.** All-Optical 40-GHz Switch Using Cascade Nonlinearities in a Quasi-Phase-Matched Lithium Niobate Waveguide // Nonlinear Optics. Optica Publishing Group, 2021. P. NW3A.7.

К.С. Гоголев, студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БИ-ТЕЛЕЦЕНТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА С ЛИНЕЙНЫМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ДО 10 КРАТ

Пресеттер — точный оптико-электронный прибор, обеспечивающий производственные измерения. В настоящее время на рынке представлены пресеттеры производства Японии и Китая в основном с японскими объективами. Данные установки имеют высокую стоимость и технические сложности в контроле инструментальной сборки.

Настоящая работа посвящена разработке оптической системы пресеттера, основу которой составляет телецентрический объектив. Для того чтобы размер изображения оставался неизменным с перемещением объекта в пределах диапазона телецентричности [1], объектив разрабатывался би-телецентрическим, то есть телецентричность обеспечивалась и в пространстве предмета, и в пространстве изображения. При этом оптическая система должна иметь линейное увеличение не менее $5\times$ при дальности наведения 160 мм. Для упрощения синтеза объектива он был представлен как сумма двух более простых объективов: передний — фотографический, задний — f -theta объектив, каждый из которых работает из бесконечности на конечное расстояние [1]. При установке их в окончательную схему передняя оптическая система поворачивается на 180° и стыкуется в плоскости апертурной диафрагмы. Для обеспечения высокой телецентричности в пространстве предмета и изображения необходимо было устранить такие aberrации, как кривизна поля, астигматизм и особенно дисторсия.

В ходе работы был рассчитан би-телецентрический объектив с увеличением $10\times$ для линейного поля предмета $2\text{ мм} \times 2\text{ мм}$. Система получилась компактной: менее 20 см в длину, что позволяет ей размещаться прямо на станке. В объективе были сведены до минимума aberrации 3-го порядка, которые оценивались по критерию Рэлея. В дальнейшем планируется провести расчет допусков как на отдельные оптические элементы, так и на сборку в целом, а также спроектировать корпус с предусмотренным разъемом для камеры. Как уже упоминалось выше, данная разработка может заменить дорогостоящие импортные пресеттеры и упростить контроль сборки, путем помещения объектива с камерой непосредственно на сам станок.

Литература

1. Зорич Н.Д., Лившиц И.Л., Окишев С.Г., Сомова Е.А., Анитропов Р.В., Летуновская М.В. Метод проектирования сложных объективов по частям // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 234–241. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-234-241.

*Н.А. Хлынцев, А.И. Смирнов, студенты;
В.В. Близнюк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ С УЧЕТОМ ЕГО ВЫХОДА НА РАБОЧИЙ РЕЖИМ

В данной работе предлагается модифицированный метод измерения спектрограмм с целью определения срока службы лазерного диода с использованием монохроматора МДР-23. В отличие от метода измерений спектрограмм, изложенного в [1], предлагается ограничить токи накачки диапазоном $1,5I_{пор} - 2I_{пор}$.

В данной работе была установлена зависимость тока накачки лазерного диода от времени. Зафиксировано, что в течение первых 10 секунд после подключения драйвера к блоку стабилизированного питания УБП наблюдается относительное увеличение тока накачки до 1%. После достижения максимального значения тока накачки он остается постоянным в течение всего времени измерений спектрограмм. При токах накачки в указанном выше диапазоне значений происходит перераспределение энергии между каналами генерации. При измерениях спектрограмм в условиях нестабильного тока накачки лазерного диода наблюдается смещение линий спектра генерации, а также появление дополнительных ярко выраженных экстремумов. Все это говорит об отсутствии повторяемости измерений спектра излучения лазерного диода. Напротив, при стабилизированном значении тока накачки обеспечивается повторяемость результатов измерения спектрограмм, как по амплитуде, так и по частоте изначально присутствующих экстремумов. Таким образом, можно считать установленным, что точность измерений спектрограмм лазерного диода можно увеличить путем задержки начала измерений относительно момента включения питания драйвера не менее чем на 10 секунд.

Установлено, что спектрограммы, измеренные с использованием воздушного охлаждения и без него, практически не отличаются. Постоянное использование воздушного охлаждения в течение всех измерений спектрограмм обеспечивает оптимальные условия эксплуатации лазерного диода, вмонтированного в лазерный модуль. Это позволяет сохранить ресурс лазерного диода.

Литература

1. **Близнюк В.В., Семенова О.И., Смирнов А.И., Хлынцев Н.А.** О возможности использования серийно изготовленных лазерных диодов в оптических измерительных системах // Оптические методы исследования потоков: Труды XVII Международной научно-технической конференции, 26–30 июня 2023. М.: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, 2023. С. 727–731.

А.В. Лаврова, студ.; рук. В.Е. Шукшин, к.ф.-м.н. (ИОФ РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ ДИМОЛИБДАТА НАТРИЯ

В настоящее время димолибдат натрия ($\text{Na}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$) используется при создании ионно-натриевых батарей [1], а также в качестве криогенного болометрического сцинтиллятора [2]. Монокристаллы этого соединения могут быть интересны как лазерный материал, поэтому исследования различных физических свойств этого материала, в частности спектра комбинационного рассеяния света (КРС), являются актуальными.

В работе был исследован кристалл димолибдата натрия в форме прямоугольного параллелепипеда, с рёбрами, параллельными кристаллографическим осям. Спектры КРС возбуждались лазерным излучением с длиной волны 532 нм. Использовалась обратная геометрия рассеяния. Регистрация спектров с погрешностью $\pm 1 \text{ см}^{-1}$ проводилась во всех 12 возможных положениях анализатора относительно кристаллографических осей. Спектр рассеянного излучения исследовался с помощью двойного монохроматора SPEX Ramalog 1403. Интенсивность сигнала регистрировалась с помощью ФЭУ.

Были получены 12 поляризованных спектров спонтанного КРС в кристалле димолибдата натрия. Теоретически спектр должен содержать 66 линий различных типов симметрии: $18A_g + 15B_{1g} + 14B_{2g} + 19B_{3g}$ [3]. Из экспериментальных спектров удалось идентифицировать 29 спектральных линий. Отличие количества экспериментальных линий от теоретического можно объяснить слабой интенсивностью части спектральных линий, а также их неоднородной структурой.

Анализ экспериментальных данных показывает, что линия симметрии A_g с частотой 938 см^{-1} является наиболее перспективной для ВКР-преобразования лазерного излучения кристаллом димолибдата натрия. В дальнейшей работе будут исследованы как ВКР-свойства данного кристалла, так и двухфотонное поглощение в нём.

Литература

1. **Verma R.** Nanocrystalline $\text{Na}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$: A New High Performance Anode Material / Verma R., Ramanujam K., Varadaraju U.V. // *Electrochim. Acta*. 2016. V. 215. P. 192–199.
2. **Validžić I.L.** Novel morphology of needle-like nanoparticles of $\text{Na}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ synthesized by using ultrasonic spray pyrolysis / Validžić I.L., Mitrić M. // *Mat. Res.* 2013. V. 16. № 1. P. 44–49.
3. **Saraiva G.D. et al.** Temperature-dependent Raman scattering studies on $\text{Na}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ disodium dimolybdate // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2011. V. 42. P. 1114–1119.

Д.А. Черных, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОВЕРХНОСТИ КРЫЛА С ЗАДАННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ В РАЗРЕЖЕННОЙ СРЕДЕ

Необходимость разработки программного алгоритма и проведения с его помощью теоретического исследования картин обтекания продиктована сложностью применения метода лазерной анемометрии по изображениям частиц. С помощью компьютерного моделирования становится возможным заранее исследовать условия проведения лабораторных экспериментов, сравнить результаты моделирования с полученными практически, в дальнейшем создать новые и модернизировать старые структурированные материалы с улучшенными механическими, термическими и аэродинамическими свойствами.

В ходе работы мною были созданы компьютерные модели пластин с классом шероховатости R100 и с фрактальным распределением шероховатости аналогичных размеров. Для класса шероховатости R100 характерный размер и распределение неровностей поверхности заданы согласно модели безразмерной эквивалентной «песочной» шероховатости. Средняя высота неровностей составляет $150 \pm 27,5$ мкм. Создание фрактальной шероховатости произведено с помощью программирования на основе итерационного алгоритма Фосса. Далее в программном обеспечении для моделирования трехмерных течений жидкостей и газов был визуализирован и проанализирован процесс обтекания.

В результате моделирования было рассмотрено влияние шероховатости на картину обтекания в области ≈ 1 мм от поверхности пластины при условиях, соответствующих созданному на лабораторной экспериментальной установке: разрежение среды соответствует 35 км над поверхностью земли, начальная скорость потока — 11 м/с, угол атаки равен 0° , набегающий поток является ламинарным. На основе полученных картин обтекания были построены зависимости скорости потока вдоль поверхности пластин.

Литература

1. **Матюшенко А.А.** Анализ причин снижения точности при расчете обтекания крыловых профилей в рамках двумерных уравнений Рейнольдса / А.А. Матюшенко, Е.В. Котов, А.В. Гарбарук // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. № 10(1). С. 20–30.
2. **Wang M.** Influence of surface roughness on nonlinear flow behaviors in 3D selfaffine rough fractures: Lattice Boltzmann simulations / M. Wang [et al.] // Advances in Water Resources. 2016. V. 96. P. 373–388.

Е.В. Зорина, студ.; рук. П.Г. Зверев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КООПЕРАТИВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОНОВ Tb^{3+} В КРИСТАЛЛЕ $CaF_2:TbF_3:YbF_3$

Твердотельные лазеры с диодной накачкой широко применяются в различных областях науки и техники. Обычно такие лазеры работают в ближнем ИК-диапазоне, но в настоящее время большой интерес представляет создание твердотельных лазеров, способных генерировать излучение в видимой области спектра. Активные элементы из кристаллов, активированных ионами Tb^{3+} , позволяют получать лазерное излучение с длинами волн в диапазоне 485–680 нм [1]. Однако из-за низкого поглощения ионов Tb^{3+} на длинах волн 380–485 нм создание эффективных тербиевых лазеров затруднительно. Исследование возможности возбуждения ионов тербия вследствие соактивации активных элементов другими редкоземельными ионами является важной и актуальной задачей лазерной физики.

В работе исследовался процесс кооперативного возбуждения ионов Tb^{3+} в кристалле CaF_2 путем переноса энергии от двух ионов Yb^{3+} . Измерены и проанализированы спектры поглощения образцов кристаллов $CaF_2:TbF_3:YbF_3$ с концентрацией редкоземельных ионов от 1 до 10 мол. %. Полученные результаты позволили определить сечение поглощения ионов Tb^{3+} и Yb^{3+} на различных длинах волн, а также параметры Джадда-Офельга [2] для ионов Tb^{3+} в кристалле CaF_2 . Измерены спектры люминесценции образцов кристаллов при однофотонном возбуждении полупроводниковым диодом (452 нм) ионов Tb^{3+} .

При возбуждении полупроводниковым лазером с длиной волны 956 нм в спектре наблюдалась широкая полоса люминесценции ионов Yb^{3+} в области 880–1040 нм, интенсивность которой линейно зависела от мощности лазера. Также наблюдалась люминесценция ионов Tb^{3+} на длинах волн 485, 540, 585, 620 и 640–680 нм. Анализ зависимости интенсивности люминесценции от мощности полупроводникового лазера показал квадратичную зависимость, которая свидетельствует о двухфотонном характере возбуждения ионов тербия путем передачи энергии от двух ионов Yb^{3+} одному иону Tb^{3+} . Полученные результаты показали, что кристаллы $CaF_2:TbF_3:YbF_3$ могут найти применение в качестве активных элементов лазеров видимого диапазона, накачиваемых широко распространенными GaAs-лазерными диодами.

Литература

1. **Tanaka H. et al.** Visible solid-state lasers based on Pr^{3+} and Tb^{3+} // Progress in Quantum Electronics. 2022. Vol. 84. P. 100411.
2. **Пржеvusкий А.К.** Конденсированные лазерные среды // Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО. 2009. 147 с.

*О.И. Семенова, соиск.;
рук. В.В. Близнюк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ПО ИХ НАЧАЛЬНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В настоящей работе предлагается методика прогнозирования срока службы лазерных диодов (ЛД) по начальным спектральным характеристикам. Для этого вводится специальный интегральный параметр A , который рассчитывается, с учетом разности между функцией огибающей спектр и расчетной.

Нами были сняты спектры серии ЛД, изготовленных в едином технологическом цикле, при различных токах накачки. Исследовалась функция $f_{exp}(v)$ — огибающая спектра излучения. В спектре были выявлены несколько каналов генерации, число которых достаточно сильно зависит от токов накачки. Для количественной оценки этой функции предлагается сравнить ее с гауссовой функцией — $f_G(v)$, аппроксимирующей каждый канал генерации в спектре в отдельности. При этом, параметры гауссианов подбираются так, чтобы расчетные функции минимально отклонялись от экспериментальных.

В качестве критерия соответствия используется минимизация квадрата отклонения между экспериментальными и расчетными кривыми:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_{exp}(v_i) - \sum_{j=1}^K f_{Gj}(v_i))^2}{N}},$$

где N — число экспериментальных точек в массиве данных, а K — число каналов генерации.

Для вычислений разработано специальное программное обеспечение, использующее генетический алгоритм.

Полученная методика может быть использована для создания оптико-электронного комплекса, позволяющего прогнозировать срок службы мощных ЛД по начальным спектральным характеристикам, отражающим состояние ЛД без расхода его ресурса.

Литература

1. **Близнюк В.В., Гвоздев С.М.** Квантовые источники излучения: М.: «ВИГМА», 2006. 400 с.

Секция 7

РАДИОСИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ

Radio navigation and communication systems

Председатель секции: к.т.н., доцент Куликов Роман Сергеевич

Секретарь секции: к.т.н. Силаева Елена Владимировна

*А.В. Павловский, С.В. Оробченко, К.В. Кочка,
А.Д. Евсеев, А.М. Михайлов, студенты; Н.И. Петухов, ст. преп. ;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАССТАНОВКИ ОПОРНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ТОЧЕК СШП ЛНС С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В настоящее время возникает необходимость создания и развития локальных навигационных систем (ЛНС), способных обеспечить радионавигационное покрытие в условиях закрытых помещений. В общем виде в аналитической форме не существует решения задачи оптимизации размещения опорных радионавигационных точек (ОРНТ) в ЛНС, поэтому метод решения выбирается из класса численных методов.

Одним из перспективных численных методов оптимизации являются итерационные генетические алгоритмы. Генетический алгоритм (ГА) — приближённый численный алгоритм, который для принципиально решаемой задачи при удачно подобранных значениях свободных параметров имеет тенденцию к сходимости [1].

В случае трехмерного пространства возникают такие особенности, как необходимость учета высоты, на которой на потребителе закреплен носимый модуль метка, и необходимость определения видимости ОРНТ рабочего пространства.

Разработана методика проектирования помещения с различными препятствиями, реализован алгоритм определения видимости ОРНТ рабочего пространства.

Результатом работы является программное обеспечение, позволяющее как расставить ОРНТ самим пользователем, так и запустить алгоритм поиска квазиоптимального расположения ОРНТ в помещении с произвольными препятствиями, при этом достигается минимальное число ОРНТ и заданное значение усреднённой по помещению радиальной среднеквадратической погрешности координатных определений.

Литература

1. **Панченко Т.В.** Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007.

А.С. Карпова, студ.;
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МНОГОСТАНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ С ЧАСТОТНЫМ И ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

Спутниковые системы связи (ССС) известны давно и используются для передачи различных сигналов на протяженные расстояния. С момента появления спутниковая связь стремительно развивалась, и по мере накопления опыта, совершенствования аппаратуры, развития методов передачи сигналов произошел переход от отдельных линий спутниковой связи к локальным и глобальным системам.

Спутниковая связь обладает уникальной особенностью — многостанционным доступом (МД), что выгодно отличает ее от других форм связи и позволяет значительно повысить продуктивность использования каналов спутникового передатчика.

МД подразумевает возможность одновременного доступа нескольких наземных станций к единому спутниковому передатчику, позволяя каждой станции передавать свой сигнал через этот канал независимо. Это требует применения специфических методов передачи и разделения сигналов. Однако из-за того, что реальные тракты неидеальны: ограниченная пропускная способность, нелинейность амплитудных и фазовых характеристик, возникают перекрестные помехи между сигналами, что ухудшает качество их разделения и приема наземными станциями.

Цель работы — сравнительный анализ помехоустойчивости спутниковой системы связи с частотным и временным разделением QPSK сигналов.

В работе изучены особенности частотного и временного разделения сигналов, используемых при построении спутниковых систем с многостанционным доступом, изучена система тактовой синхронизации (СТС), построены зависимости вероятности ошибки на выходе демодулятора цифрового сигнала от рассогласования в СТС в рабочем режиме. Проведена сравнительная оценка достижимости исходных заявленных характеристик приема сигналов на космическом аппарате при многостанционном доступе, построены зависимости вероятности битовой ошибки на выходе демодулятора от отношения сигнал-шум на входе приемника для систем с частотным и временным разделением.

Литература

1. **Васин В.А.** Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов — М.: Горячая линия — Телеком, 2005 — 472 с.: ил.

*С.В. Оробченко, С.С. Ерочкина, А.О. Жирнова,
А.В. Павловский, К.В. Кочка, А.Д. Евсеев, студенты;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В ГЕНЕТИЧЕСКОМ АЛГОРИТМЕ

Нейронные сети в настоящее время все чаще используют для задач классификации в радионавигации. Они позволяют ускорить работу локальных навигационных систем (ЛНС).

Одними из таких алгоритмов являются итерационные генетические алгоритмы (ГА), которые подробно описаны в статье [1]. Этот алгоритм определяет квазиоптимальное количество опорных радионавигационных точек (ОРНТ) по критерию достижения заданного значения радиальной среднеквадратической погрешности внутри рабочей зоны. В данной работе используются нейронные сети для поиска количества ОРНТ в часто встречающихся на практике планировке помещений.

Одним из важных этапов в работе нейронной сети является ее обучение. Для обучения надо определить достаточное количество примеров и количество часто встречающихся на практике планировок помещений. С помощью ГА создали массив примеров, где в качестве входных параметров выступают координаты углов комнаты, а в качестве желаемого отклика — координаты ОРНТ.

Результатом решения данной задачи является значительное сокращение времени работы генетического алгоритма при одновременной обработке сразу нескольких рабочих зон. Это позволяет направить основную вычислительную мощность на решение более сложных по планировке комнат.

Работа выявляет потенциал нейросетевых методов в современных ЛНС и подчёркивает их важность для достижения высокой эффективности.

Литература

1. **R.S. Kulikov, S.V. Orobchenko, M.M. Zainutdinov, S.S. Erochkina, A.O. Zhirnova and A.V. Pavlovsky**, “Optimization of the Algorithm for the Placement of Reference Points in the Positional Local Navigation System,” 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023.

*Л.Д. Угаров, И.А. Лисюков, студенты; А.П. Малышев, асп.;
С.Н. Жданов, студ.; рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГНСС ГЛОНАСС

Анализ характеристик навигационного обеспечения с использованием цифрового двойника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС представляет собой важный этап в разработке и совершенствовании навигационных технологий. Цифровой двойник в данном контексте представляет собой имитационную модель реального объекта, которая используется для анализа эффективности навигационной системы или ее элементов.

При проведении анализа характеристик навигационного обеспечения с использованием цифрового двойника ГНСС ГЛОНАСС в работе внимание уделяется нескольким показателям качества, в том числе, доступности орбитальной группировки, погрешности местоопределения навигационной аппаратуры потребителя (НАП). Этот подход позволяет инженерам и разработчикам системы и ее элементов рассчитать потенциальные оценки погрешностей местоопределения, оценить вклад различных факторов, влияющих на эти оценки и как итог оптимизировать ее состав.

Основной упор в докладе ставится на исследование влияния количества навигационных космических аппаратов (НКА) в орбитальной группировке на пространственное распределение геометрического фактора по поверхности планеты Земля и как следствие влияние на погрешность местоопределения. Геометрический фактор — характеристика влияния взаимного расположения спутников в пространстве на точность вычисляемого по наблюдаемым сигналам местоположения потребителя [1].

Анализ полученных результатов в ходе моделирования показал, что при увеличении числа НКА в составе орбитальной группировки доступность орбитальной группировки увеличивается. Вследствие этого геометрический фактор уменьшается вместе с увеличением доступности орбитальной группировки, что в свою очередь приводит к уменьшению погрешности местоопределения НАП.

Литература

1. **Перов А.И.** ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.
2. **Круглов А.В.** Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. 2021.

*П.Ю. Анучин, А.Д. Разорвин, студенты;
рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕГРАЦИЯ UWB И ГНСС СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Классической технологией обеспечения навигации мобильных потребителей принято считать использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Однако, в современных условиях, эксплуатация беспилотных авиационных систем (БАС) в городской среде ставит перед нами новые вызовы, связанные с обеспечением точной и надежной навигации. В этом контексте выделяется технология UWB (ultra wideband) стандарта IEEE 802.15.4 как одна из перспективных для решения данных задач. Системы, построенные на базе UWB технологии, принято называть локальными навигационными системами (ЛНС). Площадь покрытия (рабочая зона) таких систем определяется архитектурой построения и числом опорных точек (ОТ) (5–8 ОТ могут обеспечить площадь покрытия порядка 4–5 тыс. м²) с возможностью гибко масштабироваться. ЛНС UWB обладают высокоточными измерениями радионавигационных параметров (СКО 2–3 см), что является критически важным для безопасной и эффективной работы БАС в городских условиях. UWB сигналы, в отличие от сигналов ГНСС, невосприимчивы к многолучевому распространению в условиях городской застройки в виду широкой спектральной полосы [1]. Экспериментально полученная эффективность использования ЛНС UWB в сочетании с ГНСС без существенных внешних помех в городской застройке показана в [2]. В данной работе представлен анализ эффективности применения UWB-технологии для навигации БАС в условиях городской застройки и существенной помеховой обстановки, при этом результаты, представленные в работе [2], использовались для сопоставительного анализа и дополнения нашей собственной оценки. Ключевыми показателями эффективности в нашем исследовании являются точность определения координат БАС в динамических условиях, время реакции системы на изменения параметров среды, а также устойчивость функционирования в условиях различных городских сценариев.

Литература

1. **V. Pudlovskiy, A. Chugunov and R. Kulikov**, “Investigation of Impact of UWB RTLS Errors on AGV Positioning Accuracy,” 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2019, pp. 1–5, doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867677.
2. **A.A. Chugunov, N.I. Petukhov, A.P. Malyshev, V.B. Pudlovskiy, O.V. Glukhov and A.A. Frolov**, “Experimental Evaluation of UWB Local Navigation System Performance Used for Pedestrian and Vehicle Positioning in Outdoor Urban Environments,” 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russian Federation, 2021, pp. 449–454, doi: 10.1109/APEIE52976.2021.9647604.

*А.Д. Разорвин, А.А. Сотов, П.Ю. Анучин, студенты;
рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ UWB ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ АЛГОРИТМА ВИЗУАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ С КЛАССИФИКАЦИЕЙ ТОЧЕК ИНТЕРЕСА

Настоящая работа посвящена использованию локальной навигационной системы на основе технологии UWB (Ultra-Wideband) для получения эталонных значений в исследовании алгоритма визуальной одометрии с классификацией точек интереса. Исследование фокусируется на выборе точек интереса для визуальной одометрии с помощью нейронной сети YOLOv5. В данном контексте YOLOv5 применяется для классификации объектов в динамической среде, выделяя стационарные объекты из видеопотока. Затем на этих стационарных объектах с помощью алгоритма FAST выделяются точки интереса, необходимые для работы алгоритма визуальной одометрии как и [1]. Использование локальной навигационной системы на базе UWB позволяет получить эталонные значения траектории движения в пространстве [2], что служит основой для сравнения алгоритмов визуальной одометрии. Полученные результаты позволяют определить, как классификация точек интереса, основанная на данных от YOLOv5, может уменьшить радиальную среднеквадратическую погрешность (РСКП).

По результатам сравнения алгоритма визуальной одометрии с классификацией точек интереса посредством нейронной сети и без классификации, можно сделать вывод, что первый метод показывает меньшие значения РСКП относительно эталонной траектории движения объекта во время эксперимента.

Литература

1. **B. Kitt, F. Moosmann and C. Stiller**, “Moving on to dynamic environments: Visual odometry using feature classification,” 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, 2010, pp. 5551–5556, doi: 10.1109/IROS.2010.5650517.
2. **A.A. Chugunov, N.I. Petukhov, A.P. Malyshev, V.B. Pudlovskiy, O.V. Glukhov and A.A. Frolov**, “Experimental Evaluation of UWB Local Navigation System Performance Used for Pedestrian and Vehicle Positioning in Outdoor Urban Environments,” 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russian Federation, 2021, pp. 449–454, doi: 10.1109/APEIE52976.2021.9647604.

*И.К. Щербатых, С.А. Чуйкин, С.А. Серов, А.Р. Юсупов, студенты;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА МЕТКИ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Системы позиционирования на основе технологии СШП ЛНС стандарта 802.15.4, обеспечивают сантиметровую точность определения координат [1], тем самым позволяют решать ряд задач: мониторинг, безопасность, навигация людей в общественных местах.

Такие системы включают в себя маяки и метки. Маяки это статичные радиоустройства, расставляемые по периметру помещения в точках с известными координатами. Метки это носимые радиоустройства, которые позволяют определить местоположение объектов. Поскольку метки являются мобильными и устанавливаются на перемещающиеся объекты, к ним предъявляются требования: небольшие габариты, автономное питание, наличие интерфейсов для взаимодействия с маяками.

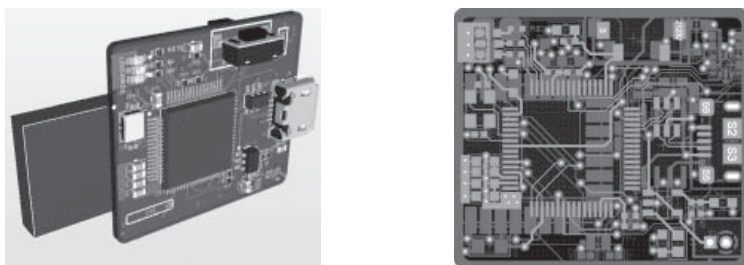


Рис. 1. Соединения треков компонентов метки на плате

Целью данной работы является разработка полудуплексной метки по следующим критериям: маленький размер платы для размещения устройства в виде браслета на руке, время автономной работы не менее восьми часовой рабочей смены, доступ к необходимым интерфейсам для прошивки и настройки устройства.

Для решения задач был выбран микроконтроллер от компании GigaDevice, который является доступным аналогом популярных микросхем от Nordic или STMicroelectronics. СШП приемопередатчик — DWM1000, позволяющий работать в широком диапазоне каналов. Для увеличения длительности работы в архитектуру устройства был добавлен акселерометр, отключающий систему в периоды неактивности. Плата состоит из четырех слоев, включает в себя разъем micro USB для прошивки и отладки, а также схема питания от аккумулятора.

В результате проделанной работы была разработана схемотехника и изготовлено устройство.

Литература

1. **Куликов Р.С., Царегородцев Д.В., Чугунов А.А.** Беззапросная сверхширокополосная радиосистема локальной навигации высокой точности // Радиотехника, 2018, N 9.

*С.А. Чуйкин, Д.А. Гутарев, И.К. Щербатых, А.А. Сотов, студенты;
рук. Н.И. Петухов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ДЕТЕКТОРА ДРОНОВ НА АНАЛОГОВЫХ КОМПОНЕНТАХ

Дроны и БПЛА приобрели очень большую популярность в последние несколько лет, их использование зарекомендовало себя как в гражданских, так и в военных целях. В связи с их широким распространением, в том числе в зоне СВО, когда дрон с подкрепленным к нему контейнером зависает над позициями и производит сброс, появилась необходимость в дешевом карманном устройстве, которое способно заранее предупредить пользователя о надвигающейся угрозе[1].

В данной работе рассматривается реализация аппаратной части Wi-Fi детектора, который имеет небольшие габариты, питается от пальчиковых батареек типа AAA и обладает малой стоимостью для производства. Пример реализации детектора приведен на рисунке 1.

Детектор работает на частотах 2.4 ГГц, 4.8–5.8 ГГц. Благодаря SMA разъемам на его корпусе он способен работать с разными типами антенн, сам детектор имеет 2 SMA разъема. Это делает возможным несколько сценариев его использования. Например, обычный мониторинг (на детекторе установлена всенаправленная антенна), пользователь получает информацию о присутствии или отсутствии дрона в радиусе до 100 метров от него, за счёт 4 светодиодов, установленных в нижней части платы. Второй сценарий предусматривает определение расположения дрона относительно приемника. Для этого предусмотрена возможность подключения направленной антенны. Индикация в этом случае осуществляется также с помощью светодиодов.

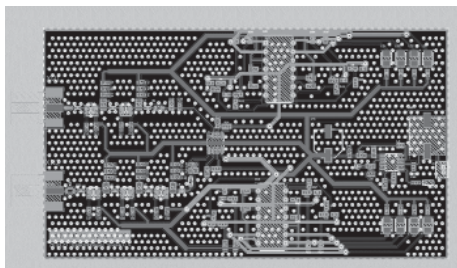


Рис. 1. Пример реализации Wi-Fi детектора

Литература

1. **Киричек Р.В., Кулешов А.А., Кучерявый А.Е. МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ АНАЛИЗА ТРАФИКА // Труды учебных заведений связи. 2016. № 1.**

*С.А. Чуйкин, И.К. Щербатых, А.Р. Юсупов, А.А. Сотов, студенты;
рук. С.А. Серов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ОТЛАДОЧНОГО КОМПЛЕКСА СШП ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА

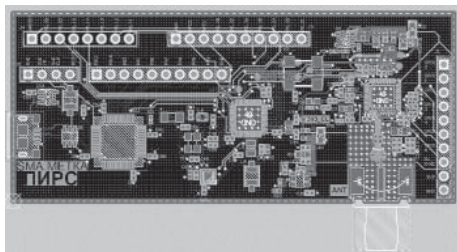


Рис. 1. Реализация метки ЛНС

(алгоритмы обработки сигналов, вычислительные устройства, источники питания), с возможностью как приема, так и передачи сигналов в диапазоне СШП (UWB).

В докладе рассматривается реализация метки ЛНС, существующая в данный момент, на примере платы для разработчиков. Данная плата позволяет использовать компоненты схемы в полном объеме путем наличия специальных отверстий для подключения дополнительной периферии. Пример печатной платы одного из вариантов ЛНС приведён на рисунке 1. Предложена схема реализации метки для проведения экспериментов с различными типами антенн. Данная разработка поможет провести большое количество экспериментов с СШП (UWB) сигналами на разных расстояниях, получить практические данные о превосходствах и недостатках различных форм-факторов антенн для навигации внутри помещений.

Литература

1. **Kulikov R., Chugunov A., Petukhov N., Semenov V., Malyshev A.** Investigation of Ultra-Wide Band Local Positioning System Accuracy Using Precise Laser Equipment // 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) / 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — 2021. — С. 1–4.

*Н.С. Вагин, С.В. Оробченко, А.В. Павловский,
К.В. Кочка, А.Д. Евсеев, студенты;
рук. Н.И. Петухов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦИФРОВКИ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ ПОМЕЩЕНИЯ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЕГО ЧЕРТЕЖА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СШП ЛНС

В современном контексте развития проектирования сверхширокополосных локальных навигационных систем (СШП ЛНС) автоматизация проектирования остается актуальной задачей.

При проектировании СШП ЛНС необходимо учитывать все объекты (стены, столбы, оборудование и т.д.), которые препятствуют свободному распространению радиоволн. Оцифровка координат объектов по изображению чертежа помещения в настоящее время требует участие специалиста и занимает значительное количество времени, особенно при работе с чертежами больших помещений.

В докладе представлен разработанный алгоритм, способный по изображению чертежа помещения определять координаты различных объектов внутри этого помещения с использованием библиотеки OpenCV [1]. На выходе алгоритма формируются координаты контура комнаты, списки координат всех отрезков и координат окружностей (центр окружности и радиус).

Относительная погрешность определения координат алгоритмом не превышает 1% относительно координат исходного плана помещения.

Также доклад включает в себя анализ существующих методов компьютерного зрения, экспериментальное подтверждение эффективности разработанного алгоритма для различных типов помещений.

В результате разработан алгоритм, предназначенный для оцифровки координат объектов в помещении на основе изображения его чертежа. Этот алгоритм обладает высокой скоростью обработки изображений в режиме реального времени, что существенно сокращает время, необходимое для автоматического проектирования СШП ЛНС.

Литература

1. **Kaehler, A., & Bradski, G.** (2018). *Learning OpenCV 4: Computer Vision with Python 3*. O'Reilly Media.

*А.Д. Евсеев, С.В. Черных, студенты; А.П. Малышев, асп.;
С.В. Оробченко, К.В. Кочка, студенты;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРЕШЕНИЕ ФАЗОВОЙ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ДЛЯ СИГНАЛОВ ГНСС В РЕЖИМЕ ПОСТОБРАБОТКИ

В настоящее время множество систем и приложений полагаются на глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), при этом все большее значение приобретает точное позиционирование [1]. Невозможно представить себе транспортную навигацию, беспилотные летательные аппараты, а также землеустроительные работы и геодезию без ГНСС.

Решение навигационной задачи по спутниковым сигналам производится по оценкам псевдодалности или псевдофазы. Погрешности оценок псевдофаз в свою очередь значительно меньше погрешности оценок псевдодалности, поэтому позиционирование потребителя по фазовым измерениям является наиболее точным, однако оценки псевдофаз содержат в себе неоднозначность, выраженную в целых циклах фазы.

Существует множество различных методов разрешения как нецелочисленной, так и целочисленной фазовой неоднозначности (ФН). На коротких базах ФН разрешается при помощи вторых разностей псевдофаз. Также, для нецелочисленной ФН используется переборный метод, где решение выбирается по критерию максимального правдоподобия. Недостатком метода является то, что он может быть чувствительным к наличию аномальных данных, что может привести к неправильной оценке фазовой неоднозначности. Для оценки целочисленной ФН применяется метод LAMBDA, для которого требуется оценки нецелочисленной ФН и ковариационная матрица дисперсий неоднозначностей.

В данной работе предлагается оценить нецелочисленную неоднозначность фазы с компенсацией ионосферной погрешности при помощи только измерений спутниковых сигналов в режиме пост-обработки. Алгоритм разрешения ФН основан на линейных комбинациях: широкополосная, узкополосная, свободная от геометрии, свободная от ионосферы и комбинация Мельбуерна-Вуббена.

В докладе представлены оценки нецелочисленной ФН для различных навигационных космических аппаратов систем ГЛОНАСС и GPS, полученные с помощью описанного способа по реальным измерениям.

Литература

1. **Перов А.И.** ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.

*С.В. Черных, А.Д. Евсеев, студенты; А.П. Малышев, асп.;
С.В. Оробченко, К.В. Кочка, студенты;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА СВЕРХДЛИННОЙ БАЗЕ В ГНСС

Принцип относительного позиционирования основан на использовании двух приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для одновременного наблюдения за навигационными космическими аппаратами (НКА) [1]. Координаты одного приемника, называемого базовой станцией, являются известными с высокой точностью, а координаты другого необходимо определить, и его называют ровером или мобильной станцией.

На сегодняшний день известны алгоритмы решения навигационной задачи (НЗ) по данным ГНСС для относительного режима, которые работают на коротких базах, где атмосферные погрешности являются сильно коррелированными, вследствие чего, они компенсируются при использовании дифференциальных методов. На сверхдлинных базах (более 1000 км) ошибки, связанные с ионосферой и тропосферой, являются некоррелированными, поэтому такой подход требует разработки новых алгоритмов, обеспечивающих высокую точность оценки координатно-временных параметров потребителя.

В данном докладе представлена разработка алгоритма решения НЗ для относительного позиционирования на сверхдлинной базе, который заключается в следующем: в начале с помощью линейных комбинаций устраняются ионосферные погрешности и разрешается нецелочисленная фазовая неоднозначность, а также компенсируется тропосферная ошибка с помощью модели Нейла. Далее формируются первые и вторые разности оценок псевдофазы, и с помощью взвешенного метода наименьших квадратов решается НЗ с учетом вращения Земли.

Для апробации алгоритма были обработаны измерения от нескольких пунктов IGS с базой более 2000 км. В результате, на базе 2211 км для систем GPS и ГЛОНАСС, по трем составляющим системы координат ENU СКО составило менее 0,2 м, а относительное математическое ожидание (ОМО) менее 0,5 м; на базе 3000 км для системы ГЛОНАСС СКО составило менее 0,25 м, ОМО менее 0,5 м; для системы GPS на базе 3900 км СКО и ОМО составили менее 0,5 м и 0,7 м соответственно. Разработанный алгоритм будет полезен для задач картографии и геодезии.

Литература

1. **Перов А.И.** ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.

Е.Д. Шубин, студ.;
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТУПНОГО РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СПУТНИКОВОГО КОМПОНЕНТА ГИБРИДНЫХ СЕТЕЙ 4G-6G

Непрерывно растущая в последнее время потребность в безопасной, широкополосной связи является мотивом для принятия новых стандартов и технологий беспроводного доступа. К таким, на данный момент, технологиям относятся пятое (5G) и перспективное шестое (6G) поколения беспроводных сетей, одним из ключевых аспектов которых, является использование сетей, не являющимися наземными (Non-Terrestrial Networks, NTN). Объединение NTN и наземных сетей (то есть создание гибридной системы связи) позволяет повысить качество обслуживания конечных пользователей, а также обеспечить стабильную связь в тех районах, где покрытие наземной связи ограничено, отсутствует по причине аварии или не имеет достаточной пропускной способности, что особенно актуально для отдалённых и малонаселённых регионов России. Создание гибридных сетей позволит пользователям получать доступ к современным сетям связи, с использованием уже существующих устройств, таких как смартфоны, без необходимости покупки специализированной аппаратуры [1].

Целью работы является исследование полос радиочастот для организации сервисной и фидерной линий для построения спутникового компонента гибридных сетей 4G-6G.

В работе проведен анализ мирового опыта в части гибридных спутниковых систем связи в сетях 4G-6G. Проведен анализ и систематизация особенностей архитектурных моделей и основных характеристик спутникового доступа в сетях 4G-6G с применением гибридных технологий связи. Также получен список полос радиочастот, доступных для организации сервисных линий диапазона FR1 3GPP, и список полос радиочастот для организации фидерных линий (радиоканала между спутниковым шлюзом и спутником).

Литература

1. TR 38.821. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16); 3GPP TR 38.821 V16.0.0, Technical Report, 2019-12.

П.В. Кузнецов, асп.; рук. А.Ю. Шатилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПОМЕХ СИГНАЛОВ ГНСС

Значительные расстояния от спутников ГНСС до приемников сигнала сильно влияют на ослабление сигнала. Поскольку принимаемый сигнал ГНСС настолько слабый (ниже -100 дБм), что даже помеха с отношением 50 дБ к мощности принимаемого сигнала, передающиеся с мощностью менее одного Ватта, будет успешно блокировать близлежащие приемники ГНСС на расстоянии до 15 км [1]. Возможности определения местоположения источника помехи наземными средствами ограничены рельефом местности, небольшой площадью обнаружения.

Метод обнаружения источников помех группировкой низкоорбитальных спутников не имеет большинства ограничений, которые возникают на при наземном обнаружении источника помех. Предложен способ определения местоположения источника помехи, связанный с наблюдением за источником сигнала с движущегося спутника [2]. На рис. 1 представлена структурная схема предложенного способа.

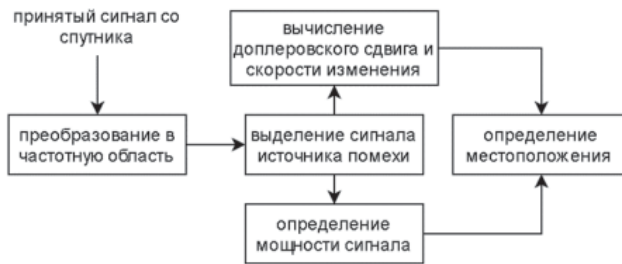


Рис. 1. Структурная схема способа определения местоположения

Математическое моделирование показывало возможность определения местоположения наземного источника помех. В дальнейшем при помощи техники цифрового гетеродинирования планируется точное определение доплеровского сдвига частоты из квадратурных отсчетов сигналов ГНСС цифрового радиоприемного устройства, оценка погрешности.

Литература

1. **T. Morong**, “Study of the GNSS Jamming in Real Environment,” *International Journal of Electronics and Telecommunications*, vol. 65, no. 1, pp. 65–70, 2019.
2. **P. Ellis**, “Use of Doppler and Doppler Rate for RF Geolocation Using a Single LEO Satellite,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 12907–12920, 2020.

*А.Р. Юсупов, С.А. Чуйкин, И.К. Щербатых, студенты;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н., С.А. Серов, инж. 1 кат. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОПОРНОЙ ТОЧКИ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

На сегодняшний день человечеству необходимы технологии навигации не только в открытых пространствах, но и внутри помещений. Такой технологией является UWB (Ultra-Wide Band) [1].

Система технологии UWB состоит из опорных точек и меток. Опорные точки — это радиоустройства, монтируемые по периметру помещения в заданных точках, координаты которых статичны и определены изначально. Метки — это мобильные радиоустройства, у которых координаты изменяются во времени и нуждаются в определении. Описана разработка и реализация опорной точки локальной навигационной системы внутри помещений, к которой, предъявлены следующие требования: передача данных через Wi-Fi, что обеспечит беспроводную автономность, которой нет у опорных точек, работающих через Ethernet, отдельный разъём для Wi-Fi антенны, SMA разъём, позволяющий подключить любую антенну, встроенные аккумуляторы 18650, заряжающиеся через micro-USB, которые обеспечивают возможность полной автономности от внешнего электропитания в течение 7-10 часов.

Целью является разработка устройства опорной точки, соответствующей всем вышеперечисленным требованиям, для мониторинга меток. Устройство должно быть малогабаритным, для возможности использования его в том числе и в качестве метки.

Для решения задачи был выбран микроконтроллер ESP32, работающий через Wi-Fi, и СШП-приемопередатчик — DW1000. Разработанная печатная плата устройства состоит из четырех слоев. Возможность полной автономности позволяет легко монтировать, перемещать и разворачивать опорную точку внутри помещения. Устройство имеет конструктивную возможность работать не только в качестве опорной точки, но и в качестве метки, при использовании соответствующей прошивки и уменьшении габаритов аккумуляторов. Это делает устройство универсальным.

Изготовлен прототип устройства, соответствующий всем предъявленным требованиям.

Литература

1. Куликов Р.С., Царегородцев Д.В., Чугунов А.А. Беззапросная сверхширокополосная радиосистема локальной навигации высокой точности // Радиотехника, 2018, N 9.

*К.В. Кочка, С.В. Оробченко, А.Д. Евсеев,
С.В. Черных, А.В. Павловский, студенты;
рук. Н.И. Петухов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ДЕТЕКЦИИ ШАГА И ОЦЕНКИ ЕГО ДЛИНЫ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА

Задача точного позиционирования пользователя при пешем передвижении может возникнуть во многих ситуациях и её актуальность неоспорима. И хотя во многих случаях глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) способны обеспечить требуемую точность, в некоторых условиях требуется прибегнуть к иным методам навигации, примером которых может служить пешеходное счисление пути (ПСП). [1]

Данный доклад посвящен синтезу алгоритма ПСП с использованием инерциального измерительного блока (ИИБ). Представлено подробное описание разрабатываемого алгоритма, состоящего из двух этапов: детекция шага и оценка пройденного расстояния на основе биомеханических моделей (Вайнберга, Микова, Скарлетта) с адаптивной оценкой масштабирующего коэффициента, содержащегося в каждой из них. Точность работы алгоритма характеризуется метрикой, рассчитываемой как норма ошибок, отнесенных к истинному пути, полученных на основе набора натурных экспериментов, проведенных для валидации созданного алгоритма.

	Ошибка	
	Адаптивный	Неадаптивный
Вайнберг	0.1699	0.2073
Миков	0.3987	0.5127
Скарлетт	0.3495	0.4808

Таким образом, предложенный алгоритм позволил повысить точность ПСП при использовании каждой из описанных биомеханических моделей. Наименьшая относительная ошибка была достигнута при использовании алгоритма совместно с моделью Вайнберга.

Литература

1. **N.I. Petukhov, K.V. Kochka, A.D. Evseev, T.A. Brovko, S.V. Orobchenko and I.V. Korogodin**, «Analysis of EKF, SR-UKF and Particle filter for ToF/AoA Local Navigation System and IMU Measurements,» 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086716

И.А. Лисин, асп.;

рук. С.С. Логинов, д.т.н., проф. (КНИТУ-КАИ, Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХКАНАЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Активное использование систем с линейной частотной модуляцией делает необходимым создание средств полунатурного моделирования, позволяющих воспроизводить сложные условия функционирования этих систем. Работа средств полунатурного моделирования подобных систем основана на моделях каналов распространения сигналов, которые позволяют имитировать такие параметры, как задержка распространения радиоволн, затухание, отражение от различных типов подстилающих поверхностей, эффект Доплера и другие явления. Эхосигнал, который формируется имитатором и подается на вход испытуемой радиотехнической системы можно описать с помощью следующего выражения:

$$\dot{U}_n(t) = \sum_{m=1}^M \sqrt{\frac{G_n G_u Z_n}{4\pi^3 Z_u}} \lambda \frac{\dot{r}_{nm} \dot{l}_m \dot{r}_{um}}{R_{um} R_{nm}} \dot{U}_u(t - t_{3m}), \quad (1)$$

где $\dot{U}_n(t)$ и $\dot{U}_u(t - t_{3m})$ — эхо-сигнал радиофизической сцены и радиосигнал,

излучаемый радиотехнической системой, соответственно; M — число фазетов сцены, облучаемых излучателем радиотехнической системы и не затенённых относительно приемника радиотехнической системы; G_u и G_n — коэффициенты усиления антенн излучателя и приемника РТС соответственно, остальные переменные выражения описаны в [1].

На основе выражения (1) проведено математическое моделирование двухканальной радиотехнической системы измерения высоты полета летательного аппарата с линейной частотной модуляцией. Проведен анализ точности измерения высоты полета при разных периодах излучения сигнала с линейной частотной модуляцией, смещениях центральных частот излучения одного канала системы относительно другого. На основе результатов данного исследования предложен алгоритм функционирования систем полунатурного моделирования двухканальных радиотехнических систем с линейной частотной модуляцией, учитывающий взаимное влияние каналов.

Литература

1. Герасимов А.Б. Имитация радиосигналов, рассеянных сложными радиофизическими сценами, в реальном масштабе времени: Автореф...дис.канд.тех.наук. — Владимир.: 2011 — 24с.

А.Д. Наваева, студ.;
рук. А.Ю. Шатилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА НА ОСНОВЕ RTL-SDR

Контроль помеховой обстановки при проведении экспериментов с оборудованием спутниковых радионавигационных систем (СРНС) в настоящий момент является актуальной задачей в сфере радионавигации. В работе рассматривается создание бюджетного портативного анализатора спектра на основе USB-устройства RTL-SDR [1], которое можно использовать в качестве компьютерного радио сканера для приема радиосигналов, чья стоимость составляет около 30 долларов США. Устройство управляется приложением под устройства на ОС Android, что позволяет использовать его с большинством смартфонов. Экран смартфона также используется для вывода полученного спектра. Приложение создано на основе уже существующего приложения RF Analyzer [2]. В модифицированной версии приложения был расширен диапазон сканируемых частот с 2.8 МГц до 1,5 ГГц, а также в значительной мере пересмотрен подход к расчету мощности сигнала (рис. 1) и реализован функционал подачи фантомного питания на приемную антенну.

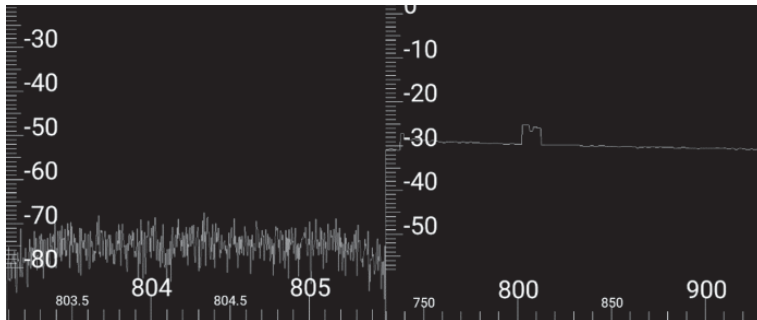


Рис. 1. Скриншот частотного спектра из оригинального приложения (слева) и модифицированного (справа)

Литература

1. ABOUT RTL-SDR // <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>
2. **Dennis Mantz** RFAnalyzer // <https://github.com/demantz/RFAnalyzer>

Секция 8 ФОТОНИКА Photonics

Председатель секции: к.ф.-м.н. Туркин Андрей Николаевич

Секретарь секции: Иликеева Римма Анваровна

*М.Д. Мартиросян, студ. ;
рук. А.И. Муницын, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА, ИЗМЕРЯЮЩЕГО ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Был разработан прибор-измеритель предела прочности оптического волокна методом двухточечного изгиба. К прибору предъявлялись требования автоматизации, простоты, эффективности и точности показаний, при этом требование автоматизации включало в себя требование достаточности к алгоритмам, установленным в микроконтроллере прибора. Применение микрокомпьютера позволило бы добиться лёгкости в изменении и дополнении алгоритмов, но при конструировании прототипа его использование было признано избыточным. При выборе оптимального для прибора-измерителя метода испытания ОВ на прочность предпочтение было отдано методу двухточечного изгиба, сам метод двухточечного изгиба детально рассматривается в [1].

Было рассмотрено несколько вариантов исполнения прибора, лучший из которых в вопросе оптимального соответствия требованиям был сконструирован в виде прототипа. С помощью прототипа были проведены необходимые измерения ОВ на прочность, доказавшие хорошую согласованность с теорией метода двухточечного изгиба. Получившиеся измерения были статистически обработаны, и по полученным распределениям прочности для различных типов ОВ была доказана справедливость измерений и их автоматической первичной обработки микрокомпьютером прибора-измерителя.

Разработанный прибор позволяет проводить экспертизу прочности ОВ с высоким уровнем автоматизации, отличаясь при этом лёгкостью внедрения и простотой в эксплуатации. Полагается, что его внедрение поможет повысить качество электромонтажа на строительных объектах.

Литература

1. **Matthewson, M., Kurkjian, C.R., & Gulati, S.T.** (1986) Strength Measurement of Optical Fibers by Bending. *Journal of the American Ceramic Society*, 69, 815–821.

*И.З. Нургалиев, студ.; рук-ли Р.К.Зарипов, аспирант,
Р.Х. Тукшаитов, д.б.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

О ВОЗМОЖНОСТИ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ 40–45 ММ ФИЛАМЕНТОВ

В современных филаментных светодиодных лампах (ФСДЛ) обычно применяются филаменты с унифицированной длиной, равной 30 мм. Испытания подобных изделий показало, что ресурс данного типа лампы и продолжительность его непрерывной работы составляет порядка 130 суток, что эквивалентно длительности их эксплуатации, равной порядка 3000 ч [1].

На рынке светодиодной техники в 2020 году была выявлена единственная модель ФСДЛ DIALL (8 Вт), имеющая длину филаментов, равной 45 мм. Первые их испытания были проведены непрерывно в течение 260 суток [2], а в последующем уже в течение 960 суток. В результате проведенных испытаний получено, что ресурс ламп составил 510 суток, то есть порядка в 3 раза больше. По истечении 960 ч. световой поток ламп уменьшилось порядка на 70%.

В последние годы промышленность мира перешла на изготовление ФСДЛ с длиной филаментов, уже равной 40 мм. Изучение номенклатуры ФСДЛ в нескольких торговых центрах г. Казани позволил установить, что на сегодня уже 42% предлагаемых на рынке их моделей содержат филаменты длиной 40 мм. Устранением слоя люминофора с поверхности светодиодов позволило установить, что значительное увеличение ресурса ламп достигается увеличением расстояния между кристаллами и соответственно снижением перегрева филаментов [2].

Литература

1. **Тукшаитов Р.** Результаты длительного испытания филаментных светодиодных ламп при нормальной и предельно допустимой температуре окружающей среды после демонтажа колб // Полупроводниковая светотехника. 2020. № 1 (63). С. 18–20.
2. **Тукшаитов Р., Загидуллин А.** О большом ресурсе филаментной лампы новой конструкции DIALL при ее эксплуатации в условиях нормальной и предельно допустимой температуры окружающей среды // Полупроводниковая светотехника. 2021. № 4 (72). С. 26–29.

Д.М. Казаков, студ.;
рук. Д.Н. Макаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ МЕТРО ПОЛЫМИ КОЛОННАМИ-СВЕТОВОДАМИ И УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМОЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Был смоделирован прототип станции метро мелкого заложения, освещаемый естественным и искусственным светом в зависимости от уровня освещенности на поверхности. Идея совмещает в себе такие особенности как: обеспечение комфортной и здоровой световой среды, футуристический современный дизайн, экономный расход электроэнергии на платформенном зале днём. В дневное время суток свет попадает на платформу при помощи полых трубчатых световодов, оформленных в виде колонн, во время пасмурного или вечернего неба станция освещается потолочными светильниками на своде и светодиодной лентой внутри колонн (рис. 1), управляемыми системой DALI. Плавную смену освещения контролируют датчики на поверхности. Также в тёмное время суток свет от искусственного освещения проходит по колоннам на поверхность и служит декоративно парковым освещением сквера над станцией. Благодаря программам 3ds max, Relux и Lightscape удалось смоделировать сцену и провести расчёты. В TracePro и SolidWorks были подобраны оптические параметры и произведено твердотельное конструирование.

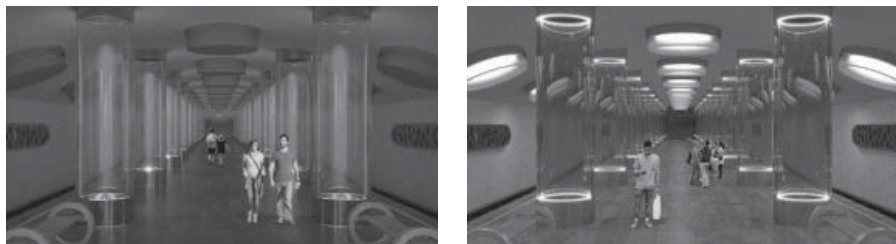


Рис. 1. Визуализация станции при естественном освещении (слева) и при искусственном (справа)

Светотехнические расчёты и анализ спроектированной модели дают шансы, что идея подобной станции ляжет в основу будущих станций метро.

Литература

1. **Соловьёв А.К.** Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // Светотехника. 2011, № 5, С. 41–47.
2. **Айзенберг Ю.Б., Буоб В., Зингер Р., Коробко А.А., Пятигорский В.М.** Система совмещённого освещения школьного здания солнечным и искусственным светом на основе полых световодов // Светотехника. 1996. № 8. С. 8–18.

А.Н. Патарашвили, студ.;
рук. Д.Н. Макаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОСВЕЩЕНИЯ ВИТРИН В ЮВЕЛИРНОМ МАГАЗИНЕ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Тема освещения в ювелирных магазинах долгое время оставалась без изменений, стояла на месте, в особенности, это касается витрин. Однако благодаря новейшим технологиям представляется возможность не только привлечь большее внимание потребителей, но и открыть перед российской светотехникой абсолютно новые горизонты. В связи с этим рекомендуется разработать миниатюрный прожектор с подобранными характеристиками: коррелированная цветовая температура 6500 К, угол свечения не более 5 градусов, показатель цветопередачи Ra более 90. Таким образом, освещение витрин будет состоять из двух компонент: равномерное освещение, обеспечиваемое светодиодной лентой, и акцентированное динамическое освещение с автоматизированным управлением DMX, сфокусированное на драгоценных камнях при помощи миниатюрных светильников.



Рис. 1. Вид витрины сбоку с освещением



Рис. 2. 3D модель светильника, созданного в программе SolidWorks 2023

Литература

1. **Нюбин В.В., Широких Т.В.** Имитаторы цвета бриллиантов // светотехника. — 2001. — № 6 — С. 11–14.
2. **Новиковский Л.Г., Боос Г.В.** Освещение музеев // Справочная книга по светотехнике. — 2019 — С. 477–494.
3. **Овчаров А.Т.** Освещение общественных зданий//Справочная книга по светотехнике. — 2019 — С. 460–467.
4. **Широких Т.В., Иванов В.Е.** Определение цвета драгоценных камней // Светотехника. — 2023. — № 2 — С. 54–59.

*К.Ж. Молдыбаева, Р.Ф. Алмазов, студенты;
рук. Д.Н. Макаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

При формировании световой среды города функциональный, зрительно-экологический, художественный, технико-экономический и социальный эффекты освещения зависят от качества и взаимодействия различных осветительных установок, одновременно действующих в городском пространстве, во-первых, между собой, во-вторых, с архитектурной формой. Это качество может быть обеспечено на проектной стадии на основе определенной светокомпозиционной системы, разработанной с использованием традиционных средств и принципов гармонизации архитектурно-градостроительной формы и широких возможностей ее зрительной трансформации средствами искусственного освещения с учетом специфических условий, объективно существующих в вечернем городе [1].

В данной работе будут показаны проблемы, возникающие при моделировании архитектурного освещения. Актуальность работы сохраняется, т.к. не все нюансы учитываются при моделировании: параметры окружающей среды, параметры облицовочных материалов, параметры осветительной установки. Современное представление проектирования архитектурного освещения включает в себя моделирование объекта в компьютерных программах (таких как 3ds Max и DIALux evo) с добавлением освещения и учитыванием деталей, способных нарушить зрительное восприятие освещаемого объекта. Моделирование — одна из основных категорий теории познания: на идее моделирования базируется любой метод научного исследования — как теоретический, при котором используются различного рода знаковые, абстрактные модели, так и экспериментальный, использующий предметные модели. Главная нерешенная научная проблема, имеющая важное значение для рабочей стадии проектов архитектурного освещения объектов, когда выполняется светотехнический расчет осветительных установок, — обеспечение соответствия созданного проектно-графического (или смоделированного иным способом) образа объекта реализуемому расчетному варианту.

Литература

1. **Г.Б. Минервин, А.П. Ермолаев, В.Т. Шимко, А.В. Ефимов, Н.И. Щепетков.** Дизайн архитектурной среды. М.: Архитектура-С, 2006.

А.Д. Шавкунов, студ.; И.В. Ирхин, к.т.н., инженер;
Р.А. Иликеева, ассист. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПИТАНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ РТУТНОЙ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (НД)

Бесферритные индукционные ртутные лампы низкого давления являются перспективным источником ультрафиолетового (УФ) бактерицидного излучения. Их эффективность при давлении инертного газа $p_{и.г.} = 0,3-0,5$ Торр — достигает $\eta = 35-65\%$. В то же время, один из недостатков данного источника излучения — высокая себестоимость пускорегулирующего аппарата (ПРА).

В качестве схемы включения авторами работы был смоделирован и рассчитан генератор ВЧ мощности, состоящий из схемы усиления сигнала и преобразования его в высокую частоту $f = 1,7$ Цз, согласованный с колебательным контуром (рис. 1). КПД генератора, полученный в результате математического моделирования данной схемы включения лампы, равнялся $\eta = 95\%$, что является очень хорошим показателем, обеспечивающим высокую энергоэффективность работы комплекта лампа + ПРА.

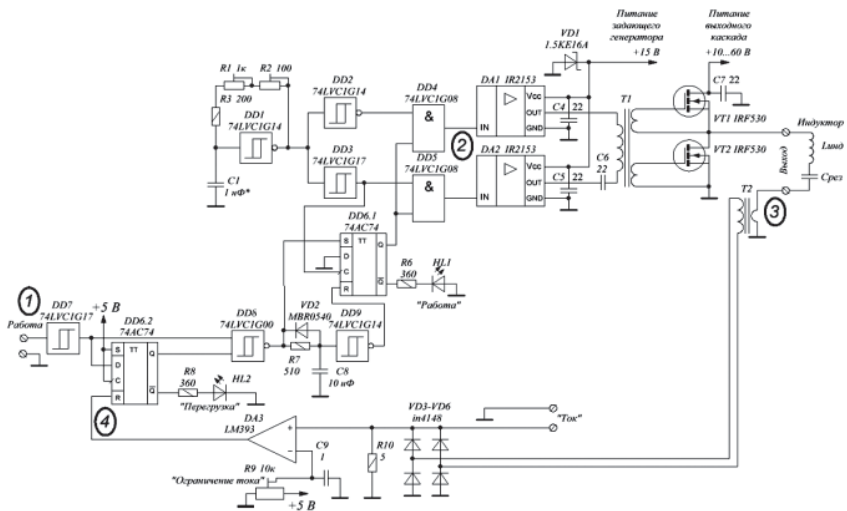


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

Литература

1. Попов О.А. Эффективный источник света на индукционном бесферритном разряде на частотах 300–3000 kHz // Журнал технической физики. 2007. Том. 77, вып. 6. С. 74–81.

А.Е. Иванова, студ.;
рук. Д.Н. Макаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОГО И ЛАНДШАФТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ



Рис. 1. Визуализация трехмерной модели коттеджа

Для исследования был выбран один коттедж поселка-отеля «Рыбачья деревня» в Рязанской области. Составлен чертеж в AutoCAD для обеспечения полной точности измерений. Произведено трехмерное моделирование коттеджа и ландшафта вокруг в программном обеспечении Autodesk 3ds Max. Преобразование трёхмерной модели в готовое изображение с заданным освещением и текстурами было произведено на движке Corona Renderer. По периметру здания были установлены камеры Spherical 360° и произведен рендер для получения 3D панорам методом трассировки лучей. В онлайн сервисе был создан VR тур, с возможностью просмотра концепции освещения коттеджа на 360°. Однако, указанные инструменты не обеспечивают интерактивной среды между пользователями и объектом проектирования.

Для дальнейшего исследования был выбран метод растеризации, реализующий рендеринг в реальном времени. Был произведен импорт преобразованной трехмерной модели в игровой движок Unity, позволяющий пользователям взаимодействовать с объектами дизайна, изменять их и сравнивать несколько сценариев проектирования. Технология Lightmapping сохраняет информацию об освещении и текстурах, а технология Light Probes используется для освещения динамических объектов.

Метод позволяет сохранить время на рендер и внесение правок, в следствии чего уменьшаются финансовые затраты, а также появляется возможность для пользователя в полной мере оценить предлагаемый ему объект. Проектирование будет продолжено для всего коттеджного поселка.

Литература

1. **В.П. Будак, Д.Н. Макаров.** Компьютерная графика с приложением в светодизайн. 2022.
2. **Worawan Natephra, Ali Motamedi, Tomohiro Fukuda & Nobuyoshi Yabuki.** Visualization in Engineering. 2017.

*А.Д. Шавкунов, Д.М. Казаков, А.Е. Иванова, студенты;
рук. Р.А. Иликеева, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

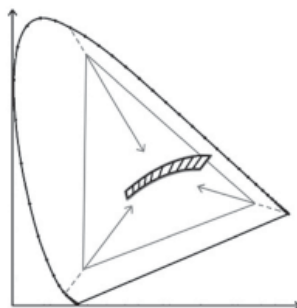
РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОСМОТРОВОЙ КАМЕРЫ

Известные просмотровые камеры используют один источник света или набор источников разной цветовой температуры. Поставлена задача разработать просмотровую камеру, освещающую цветные образцы белым светом различной цветопередачи.

Разработана, произведена и продемонстрирована на научных фестивалях МЭИ просмотровая камера размером $300 \times 300 \times 300$ мм с цветом внутренних стенок серого цвета с коэффициентом отражения 0,36 по требованию стандарта ASTM D1729-16 (рис. 1а). Камера освещает образцы тремя вариантами белого света с КЦТ 4000 К и общим индексом цветопередачи $R_a = 70, 80$ и 90 ; 11-ю вариантами узкополосного цветного света с доминирующими длинами волн от 400 до 700 нм; и светом, собранным из отдельных спектральных компонент. Изменение пропорций компонент спектра производится 14-ю поворотными ручками. На внешней части камеры размещены технические характеристики и методические указания.



(а)



(б)

Рис. 1. Просмотровая камера: (а) внешний вид (б) одна из схем сборки белого цвета из спектральных компонент в цветовом пространстве CIE1931

Камера позволяет наблюдать тестовые объекты, освещенные цветным светом, белым светом различной цветопередачи и разного состава: красный + зелёный + синий, голубой + жёлто-зелёный, красный + голубой. Также камера позволяет демонстрировать свойства цветового пространства CIE 1931 и сопоставлять теоретические знания по колориметрии с наблюдаемыми эффектами.

Проект выполнен на производственной базе ООО ТПК «Вартон», руководитель практики О.С. Дроздова, автор идеи А.С. Шаракшанэ.

Р.В. Дибольский, студ.;
рук. А.Н. Туркин, к.ф.-м.н., доцент (МГУ, Москва)

КВАНТОВЫЕ ЯМЫ AlGaInAs ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1300–1550 НМ

В настоящей работе исследуются параметры квантовой ямы AlGaInAs. Такие ямы используют для создания телекоммуникационных лазеров спектрального диапазона 1300–1550 нм. Одной из проблем создания данных лазеров является тот факт, что носители заряда могут покидать активную область, снижая квантовую эффективность прибора. Оже-рекомбинация дополнительно уменьшает излучательную рекомбинацию, снижая коэффициент полезного действия. В работе исследуются такой подход решения этой проблемы, как создание упругих напряжений активной области, что позволяет отодвинуть порог генерации дислокаций несоответствия. Основной задачей работы являлось построение линий постоянного уровня 1300 нм и 1550 нм в случаях, когда материал ямы AlGaInAs согласован с подложкой InP и когда в квантовую яму и барьерный слой вносится упругое напряжение. Меня такие параметры, как состав ямы и ширины ямы, мы должны получать точно заданное значение длины волны излучения. По итогам работы должны быть получены параметры квантовой ямы AlGaInAs, а именно: состав, ширина и значение упругого напряжения, при которых достигается наибольшая квантовая эффективность прибора, а также проведено сравнение расчёта с экспериментальными данными.

Спектральный диапазон 1300–1550 нм представляет собой телекоммуникационный диапазон. Инжекционные полупроводниковые лазеры долгое время совершенствовались, прежде чем смогли в достаточной мере удовлетворить требованиям широкого класса телекоммуникационных систем. Цифровым наземным и подводным линиям дальней связи требуются надёжные и быстродействующие лазеры с малым чирпом [1].

Основной задачей работы являлось построение линий постоянного уровня 1300 нм и 1550 нм в случаях, когда материал ямы AlGaInAs согласован с подложкой InP и когда в квантовую яму и барьерный слой вносится упругое напряжение. Математическую модель данной схемы задаёт система уравнений [2]:

$$\sqrt{\frac{2m_e E E_1}{\hbar^2}} L = \pi n - 2 \arcsin\left(\sqrt{\frac{E E_1}{U_e}}\right)$$

$$\sqrt{\frac{2m_h H H_1}{\hbar^2}} L = \pi n - 2 \arcsin\left(\sqrt{\frac{H H_1}{U_h}}\right)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = E_g + E E_1 + H H_1$$

где L —ширина квантовой ямы, $E E_1$, $H H_1$ — уровни размерного квантования электронов и дырок соответственно.

Литература

1. **В.Н. Трещиков, В.Н. Листвин.** DWDM-системы IV // Издание 4-е, М.: Изд-во «Техносфера», 2021, 400 стр.
2. **А.Е. Жуков.** Лазеры на основе полупроводниковых наноструктур // СПб.: ООО «Техномедиа» Изд-во «Элмор», 2007, 304 стр.

*А.А. Михеева, студ.; рук. А.Н. Туркин, к.ф.-м.н., доц.
(МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)*

ОПТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ InGaAs

Сегодня интенсивно разрабатываются такие полупроводниковые источники излучения, как лазерные диоды. Так как они применяются в самых разных областях деятельности человека, к их выходным характеристикам могут предъявляться особые требования. Вопрос усиления сигнала в квантовых ямах полупроводниковых структур является очень актуальным для создания новых мощных источников излучения.

Чтобы выполнить расчёт коэффициента усиления в квантовой яме, необходимо построить соответствующую теоретическую модель. В данной работе рассматривалась модель прямоугольной потенциальной ямы [1]. После нахождения уровней энергии электронов и дырок в квантовой яме можно рассчитать коэффициент усиления для конкретных оптических переходов.

В ходе работы был проведён эксперимент, где исследовалась генерация в полупроводниковом лазере, активная среда которого представляла собой квантовую яму из $\text{In}_{0,285}\text{Ga}_{0,715}\text{As}$ с барьерами GaAs. В результате были получены два спектра генерации, соответствующие оптическим переходам между первой электронной подзоной и первыми подзонами лёгких и тяжёлых дырок в рассматриваемой квантовой яме. Оказалось, что с ростом тока накачки в генерацию вовлекался оптический переход на меньшей длине волны. При выполнении работы параллельно был построен теоретический спектр усиления в той же квантовой яме для нескольких значений концентрации носителей. Он имел два максимума, соответствующих рассматриваемым оптическим переходам. С ростом концентрации носителей выше оказывался тот максимум спектра, который соответствовал переходу на меньшей длине волны, что и объяснило смену длины волны генерации в эксперименте.

После подстановки параметров экспериментальной установки в условие возникновения генерации в лазере был сделан вывод о том, что эксперимент подтвердил теоретический расчёт усиления для разных оптических переходов. При этом теоретическая модель с достаточной степенью точности объяснила экспериментальные результаты.

Полученные в ходе выполнения работы результаты будут использованы при анализе оптического усиления на других переходах в квантовых ямах.

Литература

1. **Садыков С.А.** Квантовая и оптическая электроника. Махачкала: ДГУ, 2012.

*Р.Ф. Алмазов, К.Ж. Молдыбаева, студенты;
рук. Д.Н. Макаров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

В современном мире светотехники, компьютерные программы для светотехнических расчетов играют ключевую роль в создании эффективного и визуально привлекательного освещения в различных областях. Выбор правильной программы может стать решающим фактором для достижения оптимальных результатов в проектировании световых систем. Среди знаменитых программ, таких как Dialux Evo, WYSIWYG, RELUX, AGi32, LightTools и V-RayLight плагин, каждая обладает своими уникальными характеристиками и применением.

Какие программы действительно нужны для конкретных задач. Какая из них лучше всего справляется с созданием идеального света в интерьере, а какая идеально подходит для освещения дорог и фасадов зданий?

Эффективность светотехнического проектирования важна не только с точки зрения визуализации, но и в контексте оптимизации ресурсов и сокращения времени на проектирование [1]. Использование компьютерных программ значительно облегчает процесс проектирования освещения в образовательных учреждениях, а также обеспечивает возможность визуализации результатов, что экономит время и ресурсы проекта [1].

Однако, несмотря на множество преимуществ, возможны некоторые проблемы. Проблемы с точностью могут возникнуть из-за недостаточных данных или неправильной настройки программы. Важно четко определить область применения каждой программы [1], чтобы избежать недопонимания ее функционала и неэффективного использования. Сопряжение программ с другими инструментами также требует внимательного подхода [1], чтобы обеспечить совместимость и целостность данных. Расчет естественной освещенности и использование технологии RayTracing становятся важными компонентами современных программ, обеспечивая более реалистичные и точные результаты [1]. Понимание этих аспектов позволяет максимально эффективно использовать потенциал светотехнических программ, создавая не только функциональное, но и эстетическое освещение в любом пространстве.

Литература

1. **Макаров Д.Н.** Программы расчета и визуализации осветительных установок, М.: Дом Света, 2004 г.

А.А. Бордукова, студ. ;
рук. В.В. Близнюк, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ОТКАЗА ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ПРИ ИХ ПОСТЕПЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ

Ухудшение параметров лазерного диода в процессе его эксплуатации называется постепенной деградацией. Последним этапом постепенной деградации является отказ. На данный момент не существует строгого критерия отказа лазерного диода, работающего при постоянном токе накачки. Чаще всего под отказом понимают уменьшение мощности его излучения в два раза [1]. В данной работе для описания процесса деградации в лазерных диодах предлагается использовать экспоненциальную зависимость мощности генерации от времени. Экспоненциальная зависимость является наиболее простой и широко распространенной статистической моделью, которая отражает зависимость вероятности безотказной работы изделия от времени до наступления момента отказа [2]. При таком подходе к рассмотрению процесса предлагается использовать в качестве критерия отказа уменьшение мощности генерации в e раз. Время τ , прошедшее от начала эксплуатации лазерного диода до отказа, является при этом сроком службы лазера.

$$P(\tau) = P_0/e \quad (1)$$

где P_0 — начальное значение мощности генерации.

Новизна проблемы подтверждается проведенными на эту тему исследованиями [3, 4]. Все исследования были проведены в последние пять лет. Данные исследований были проанализированы автором, и результаты этого анализа учтены в данной работе.

Экспоненциальное описание процесса постепенной деградации лазерных диодов, которое опирается на известную статистическую модель, позволит строго сформулировать критерий отказа, систематизировать описание процесса постепенной деградации в лазерных диодах, а также усовершенствовать алгоритм прогнозирования их срока службы.

Литература

1. **Кейси, Х.** Лазеры на гетероструктурах / Х. Кейси, М. Паниш. — Москва: Мир, 1981. — Т. 1 — 299 с.
2. **Коняхин И.А.** Статистическое моделирование оптико-электронных систем — СПб.: Университет ИТМО, 2020. — 70 с.
3. **Yue Song.** Processes of the Reliability and Degradation Mechanism of High-Power Semiconductor Lasers // Crystals 2022, 12, 765. 26 pages.
4. **Nicola Trivellin.** Performance and Degradation of Commercial Ultraviolet-C Light-Emitting Diodes for Disinfection Purposes // Phys. Status Solidi A 2023, 220. 6 pages.

М.А. Ахмадов, студ.; рук. Р.А. Иликеева, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ УФ ЛАМП ЗАМКНУТОГО ТИПА

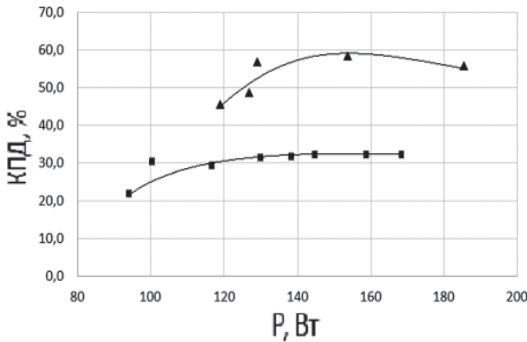


Рис. 1. График зависимости КПД генерации УФ излучения от мощности лампы. ■ — $p_{и.г.} = 0,5$ Торр; ▲ — $p_{и.г.} = 0,7$ Торр

ского поля $f = 1,7$ МГц, мощности лампы $P = 80-180$ Вт, при давлении инертного газа $p_{и.г.} = 0,5$ Торр.

Измерения показали, что максимальное значение КПД генерации УФ излучения достигается при мощностях лампы 150–160 Вт и составляет 32,6%. Однако, данное значение меньше, чем полученное в [1] у лампы с давлением $p_{и.г.} = 0,7$ Торр такого же буферного газа, работавшей на той же частоте $f = 1,7$ МГц (58,7%). Предполагается, что с дальнейшим увеличением давления буферного газа в лампе, КПД генерации УФ излучения будет увеличиваться. Тем не менее, эксперимент проведенный в [2] показал, что увеличение давления буферного газа от 1 до 2 Торр при работе лампы на частоте электрического поля $f = 13,56$ МГц ведет к значительному снижению выхода УФ излучения и КПД генерации УФ излучения, в связи с чем представляется целесообразным провести подобное исследование и на меньшей частоте электрического поля $f = 1,7$ МГц.

Литература

1. Старшинов П.В., Попов О.А., Иликеева Р.А., Буреева Д.А., Ирхин И.В., Левченко И.В., Терехов Г.П. Эффективный источник УФ излучения на основе бесферритного индукционного ртутного разряда в замкнутой трубке малого диаметра // Светотехника. — 2020. — № 1. — С. 56–59.
2. Ахмадов М.А., Иликеева Р.А., Попов О.А. Исследование излучательных характеристик индукционных бесферритных УФ ламп // Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. — 2022. — С. 116.

Индукционные лампы являются эффективными источниками ультрафиолетового излучения на длинах волн 185 и 254 нм.

Автором было проведено экспериментальное исследование характеристик бесферритных индукционных УФ ламп с трубками из кварцевого стекла диаметром 16,6 мм, наполненных парами ртути и буферным газом, в качестве которого выбран аргон. Разряд в лампе зажигался на частоте электриче-

*Д.А. Ларьков, студ.; А.Н. Дорожкин, асп.; Д.Д. Старых, соиск.;
рук. О.Е. Наний, д.ф.-м.н., проф. (МГУ, Москва)*

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ СВЧ СИГНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОФОТОННОГО ТРАКТА

Вследствие увеличения требований к кабельным системам связи, которые используются для передачи аналогового сигнала [1], стали появляться всё больше исследований, посвящённых радиофотонным трактам (РФТ). Данные устройства работают по принципу преобразования электрического сигнала в модуляцию оптической мощности, которая после прохождения через оптическое волокно детектируется фотодиодом, преобразуя излучение обратно в электрический сигнал.

Важные параметры, такие как погонное затухание, не зависящее от частоты сигнала, ценна, помехозащищённость, масса и габариты у оптического волокна лучше, чем у коаксиального кабеля. Однако при передаче аналогового сигнала через РФТ возникают проблемы, связанные с линейными и нелинейными искажениями полезного сигнала.

Линейные искажения обусловлены шумами в электрических и оптических компонентах РФТ. Нелинейные искажения [2] появляются из-за не идеальности электрооптического преобразования и использовании электрического усилителя.

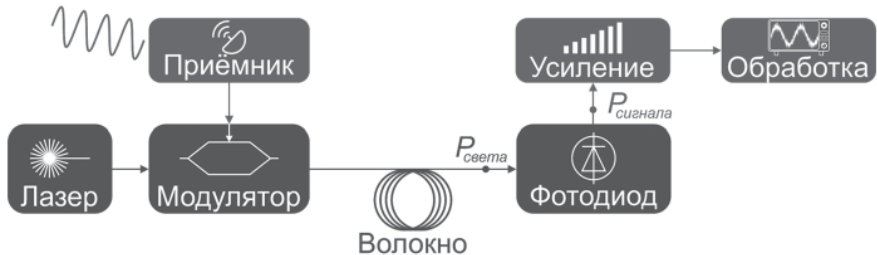


Рис. 1. Схема радиофотонного тракта

В работе особое внимание уделялось исследованию, как оптические устройства, аттенуатор, мультиплексор и эрбиевый усилитель, влияют на параметры радиофотонного тракта. Также осуществлялась верификация численной модели, с помощью которой рассчитывались основные параметры РФТ в зависимости от характеристик, комплектующих.

Литература

1. **J. Smith, A. Johnson.** IEEE Microwave Magazine. **16**(№8), 74–83 (2022).
2. **В.А. Небавский, Р.С. Стариков.** Измерительная техника. **12**, 40–45 (2022).
3. **Д.С. Земцов и др.** VII Международная конференция по фотонике и информационной оптике. 106–107 (2018).

В.С. Грицаенко, студ.;
рук. П.А.Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СВЕТОКУЛЬТУРА МИКРОЗЕЛЕНИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛУЧЕНИЯ

Светокультура растений находит широкое применение, однако, чтобы добиться наибольшей эффективности, необходимо правильно подобрать спектр, мощность осветительной установки, периоды облучения. На разных фазах роста растений наиболее оптимальными оказываются разные варианты освещения [1], причем наблюдается зависимость и от вида растения [2].

С целью изучения влияния уровней облученности микрозелени на массу растения, скорость роста, качество биомассы, внешний вид и другие параметры была произведена серия исследований в учебно-исследовательском комплексе УИК ВНИСИ. Кресс-салат и дайкон выращивались на гидропонной установке 7 и 14 дней. Была проведена серия темновых опытов. Для изменения распределения излучения, уровней облученности и спектра использовались методы: 1) размещение под облучателями кальки в 1, 2 и 3 слоя. 2) размещение черной металлической сетки на облучатель. 3) добавление дополнительных источников света 4) пластиковые прозрачные стаканы на каждый горшочек с растением.

В результате исследований было установлено: качество биомассы лучше при условиях произрастания с наибольшей фотосинтетической фотонной облученностью, дайкон в качестве микрозелени необходимо выращивать 14, а не 7 дней, т.к. дополнительная неделя увеличивает массу более чем в 3 раза. Установка стаканов увеличивает массу урожая в среднем на 37%, а массу листьев — в 1,8 раза. Даже в первые 2 недели роста вклад облучения в массу составляет около 50%.

Возможна необходимость дополнительной оценки особенностей распределения излучения с использованием кальки и пластиковых стаканов. Для уточнения полученных результатов возможно провести дополнительные серии экспериментов с другими видами металлических сеток, стаканов и другими дополнительными облучателями, например, со спектральным составом, отличным от используемого в данной работе.

Литература

1. **Маркова, А.Е., Мишанов, А.П., Ракутько, Е.Н., Ракутько, С.А.** Оценка влияния факторов световой среды на эффективность выращивания рассады томата // *Агро-ЭкоИнженерия*. 2020. № 1.
2. **Боос Г.В., Прикупец Л.Б., Терехов В.Г.** Влияние дозы и времени облучения на продуктивность салатно-зеленных растений в условиях светокультуры // *Светотехника*. 2022. № 4.

Е.А. Филипенко, асп.;
рук. А.Н. Туркин, к.ф.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТАЦИЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЖИВОПИСИ В ТЕХНИКЕ ТЕМПЕРА

Сохранность и долговечность всех представляемых в музее экспонатов обуславливается соблюдением норм освещенности. В музеях устанавливаются верхние границы допустимых норм, превышение которых должно быть абсолютно исключено. Живопись в технике темпера согласно ПНСТ 392-2020, относится к группе малочувствительных к свету экспонатов, средняя освещенность которых не должна превышать 200 лк [1]. Сегодня во всем мире замечается четкий курс на пересмотр общепринятых норм экспозиционного освещения. Экспертами выяснено, что большое значение имеет даже не сам уровень освещенности, а наносимое им облучение, величина которого определяется в каждом рассматриваемом случае отдельно [2]. Свет, попадая на поверхность иконы, проходит через все составляющие экспонат слои, взаимодействует с материалами, из которых он создан. Поскольку показатель преломления у каждого слоя свой, возможны ситуации, при которых часть светового излучения, дошедшая до глубоких слоев иконы испытывает полное внутреннее отражение (ПВО) и со временем переходит в тепловую энергию. Таким образом, возможно повреждение внутренних слоев художественного произведения, отреставрировать которые невозможно, не повредив верхние красочные слои. Целью данной работы является создание математической модели для изучения влияния освещения на живопись в технике темпера.

В качестве теоретического базиса модели выбрано широко используемое в физике уравнение переноса излучения (УПИ) [3]. В данной работе предлагается его адаптация, учитывающая физические особенности освещения работ в технике темпера, в частности: распределение частиц по размерам в различных красочных слоях, внедрение показателей преломления и отражения на границах слоев.

Литература

1. **ООО «ВНИСИ»**, Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 392-2020 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы». — Москва, 2020.
2. **Чафонова В.Г.**, Музейное освещение: учебное пособие. — Санкт-Петербург, СПбГИКиТ, 2019.
3. **Коркин С.В.**, Математическая модель отражения поляризованного излучения при дистанционном зондировании мутных сред. — Москва, Московский энергетический институт, 2009.

О.А. Филиппова, студ.¹; Д.В. Сушинов, асп.²;
рук. Я.Э. Сергеева, к.х.н.^{2,3}; рук. А.Н. Туркин, к.ф.-м.н¹.

¹ — МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;

² — НИЦ «Курчатовский институт», Москва;

³ — МФТИ, Долгопрудный)

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД МОНИТОРИНГА ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ ФИКОБИЛИПРОТЕИНОВ

В последние годы фототрофные микроорганизмы (цианобактерии и микроводоросли) привлекают особое внимание в виду их биотехнологической и экологической значимости. Крупномасштабное промышленное производство фототрофных микроорганизмов с целью использования их биомассы для получения различных целевых продуктов (биотоплива, сельскохозяйственных удобрений и пестицидов, пищевых и кормовых добавок, фармацевтических компонентов, соединений с высокой добавленной стоимостью) требует оптимизации условий культивирования для повышения продуктивности как нативной биомассы и ценных целевых компонентов, так и разработки новых неинвазивных методов онлайн-мониторинга в естественных условиях.

Анализ флуоресцентных характеристик фотосинтетического аппарата микроорганизмов — мощный инструмент изучения воздействия факторов окружающей среды. При этом флуоресцентная спектроскопия становится одним из возможных неинвазивных методов исследования.

Цель данной работы — исследование возможности использования флуоресцентной спектроскопии для количественного определения фикобилипротеинов — вспомогательных пигментов фотосинтетического аппарата цианобактерий — в клетках нитчатой цианобактерии *Arthrospira platensis* B-12619.

На данном этапе исследований:

- на основе матрицы возбуждения-излучения, полученной при обработке массива данных флуоресцентной спектроскопии, были построены тепловые карты и 3D-спектры флуоресценции индивидуальных фикобилипротеинов (С-фикоцианина и аллофикоцианина), а также суспензии нативных клеток *A. platensis* разного возраста;
- выявлена зависимость интенсивности флуоресценции от фазы роста цианобактерии.

Полученные результаты могут иметь прикладную биотехнологическую значимость для прогнозирования максимальной продуктивности ценных фикобилипротеинов с использованием неинвазивного метода флуоресцентной спектроскопии при мониторинге процесса культивирования цианобактерий в естественных условиях.

*Е.П. Василев, асп.,
рук. П.А. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦАХ И СИТИФЕРМАХ

Для эффективного прохождения фотобиологических процессов в растениях требуется особый спектр излучения и благоприятная внешняя среда. Это обусловлено тем, что каждому пигменту соответствует свой индивидуальный спектр поглощения и, соответственно, своя спектральная характеристика световой активности возбуждающего излучения [1]. Для достижения максимально возможного результата при выращивании в условиях закрытого грунта, необходимо понимание, при каких параметрах и условиях внешней среды, будет наилучший результат в виде биомассы/плодов.

С этой целью автором исследования был произведён комплексный анализ начиная с теоретической оценки разнообразных фотобиологических процессов (в частности влияние спектрального состава излучения на протекание реакций, влияние температуры, углекислого газа и влажности) и их влияние на конечный результат в виде биомассы/массы плодов. На основе данного анализа, была произведена разработка эффективного светодиодного модуля с оптимальными характеристиками и поставлен практический эксперимент, в котором производилось статическое изменение спектрального состава излучения. В данной работе исследовались светодиоды с наибольшим влиянием на пигменты растений. Затем данные были статистически обработаны и осуществлён их анализ. Исходя из результатов анализа определили наиболее оптимальные параметры, которые необходимо изменять/стабилизировать для получения наиболее благоприятного результата в виде конечного продукта (плоды, биомассы и т.д.).

Результаты, полученные в ходе этой работы, могут иметь как прикладную ценность при проектировании установок для выращивания в искусственных условиях(теплицы и т.д.).

Литература

1. **McCree, K.J.** (1972) Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191–216.

*Е.И. Ильина, ассистент;
рук. В.П. Будака, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВИЗУАЛЬНЫХ ОЩУЩЕНИЙ ОТ КОНТРАСТА ЯРКОСТИ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Целью данной работы является разработка метода оценки зрительного ощущения (ЗО) от контраста яркости (КЯ) на базе нейронной сети (НС). Обычно оценку ЗО сужают до оценки дискомфорта и ведут с позиции пороговых значений яркости (ПЗЯ), а не с позиции контраста яркости (КЯ) в сцене освещения, тогда как они оба могут быть источником дискомфорта.

В данной работе исследуется вопрос возникновения ЗО: «едва заметно», «комфортно», «дискомфортно», «неприятно» и «невыносимо» в зависимости от КЯ в сцене с одним ИС $\emptyset 3$ см на равномерном фоне. Новизна — в методике построения модели, где вместо вычисления показателя дискомфорта по некоторому уравнению и оценки его степени по шкале используется НС. Достоинством этого подхода является возможность напрямую вычислять вероятность возникновения ЗО по набору характеристик, таких как: яркости ИС (L_S) и фона (L_{ad}). Схема НС показана на рис. 1. В ходе обучения лучше всего показал себя алгоритм «один против всех». Полученные экспериментальным путем, описанном в [1], были преобразованы в виде матриц $[L_S; C_1 = L_S/L_{ad}]$ и $[ЗО, \text{не } ЗО]$, размерностью 2×367 и использованы для обучения НС. Предложенная методика позволила получить модель, позволяющую по двум параметрам L_S и L_{ad} предсказывать вероятность возникновения ЗО с точностью выше 85% в рамках рассмотренной сцены. Также НС в дальнейшем можно использовать для построения моделей оценки ЗО от КЯ в более сложных сценах используя, предложенный выше метод.

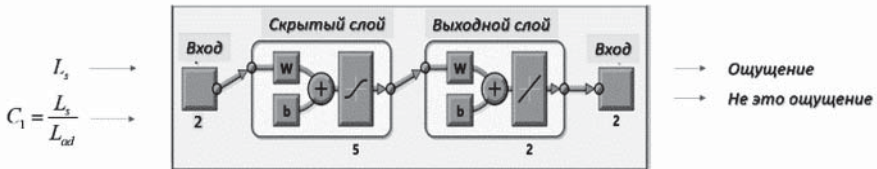


Рис. 1. Схема нейронной сети по типу «один против всех» в программе Matlab

Литература

1. Budak V.P. Pyina E.I. Construction Of A Psychophysical Scale Of Visual Comfort of Lighting Based On A Neural Network: preparation Of The Experiment // Light & Engineering. 2021. Vol. 29. № 3, pp. 114–122.

Секция 9

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Industrial electronics

Председатель секции: к.т.н., доцент Асташев Михаил Георгиевич

Секретарь секции: к.т.н. Серегин Дмитрий Андреевич

А.А. Громков, М.С. Волонин, студенты;
рук. М.Г. Асташев д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИНВЕРТОРА С НИЗКИМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Солнечная энергетика является одним из наиболее перспективных и экологически чистых источников энергии, развитие которого идет быстрыми темпами. В последние десятилетия было создано множество инновационных разработок в области альтернативных источников энергии, что позволило значительно увеличить эффективность преобразования солнечного излучения в электричество.

Напряжение солнечной батареи — постоянное напряжение, варьируемое в широком диапазоне, такой источник энергии сложно применять для потребительских нужд. Автономный инвертор напряжения (АИН), подключенный к солнечной панели, эффективно решает проблему нестабильности напряжения и сложности использования солнечной энергии. В свою очередь напряжение, отдаваемое в сеть должно удовлетворять требованиям по низкому значению коэффициента гармоник.

Для этих целей в данной работе рассматривается схемотехническое решение, состоящее из двух каскадов: двуполярного DC-DC преобразователя и DC-AC преобразователя, выполненного по Т-образной схеме. Схема двуполярного инвертора напряжения, несмотря на сложность реализации, обладает более высоким коэффициентом гармоник, чем однополярные схемы.

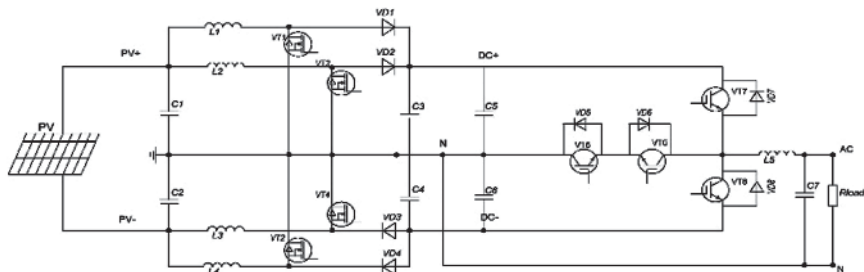


Рис. 1. Структурная схема силовой части АИН

*Т. Кабаев, Г.Ш. Эралиева, аспиранты;
конс. А.Дж. Аккозов, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек)*

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ НОВОГО ТИПА В КАЧЕСТВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧИСЛА ФАЗ

Актуальность работы заключается в том, что для различных областей электротехники существует потребность в приборах, которые могли бы выполнять как функцию фазорегулятора, так и преобразователя числа фаз [1].

Целью работы является разработка схем устройств, которые могут выполнять как функцию фазорегулятора, так и функцию преобразователя числа фаз, построенных на малом количестве функциональных элементов.

В работе построена математическая модель фазорегуляторов с использованием формул расчёта узловых потенциалов и эквивалентного генератора. На основе численных экспериментов проанализированы различные режимы функционирования устройств, характерные для различных значений и характеров нагрузок.

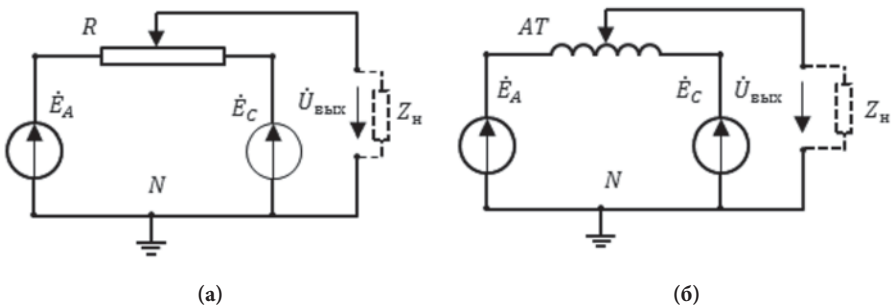


Рис. 1. Схема фазорегуляторов на основе: (а) — реостата; (б) — автотрансформатора

Результаты экспериментальных исследований, полученные на основе действующего макета показали их работоспособность и могут функционировать как фазорегулятор, так и преобразователь числа фаз. Могут быть использованы в различных устройствах (радиоприёмники, измерительная техника, согласующие устройства, выпрямительная техника и др.).

Литература

1. **Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Ялалова З.И.** Улучшение электромагнитной совместимости преобразовательных устройств с сетью и нагрузкой с помощью многофазных трансформаторов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. № 3. Т. 10. С. 21–29.

*И.Б. Яковлев, Е.С. Брянцева, И.В. Манухин, студенты;
рук. И.П. Воронин, доц., д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ ТОКА И АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Схемы автономных инверторов тока (АИТ) и напряжения (АИН), имеют широкую область применения. Вопрос выбора схемы и метода ее управления зависит от конкретных условий эксплуатации. Несмотря на это, схемы АИН и АИТ имеют сходство как в управлении, так и в формах электрических характеристик.

На рис. 1 представлена схема, осуществляющая питания асинхронного двигателя (АД), система работает на частоте 400 Гц. Система управления (СУ) создаёт импульсы управления полупроводниковыми ключами (п/п), далее сигнал поступает на распределительный блок, который формирует импульсы управления как для п/п ключей АИН, так и для п/п ключей АИТ. Питание АД может быть осуществлено с обоих преобразователей.



Рис. 1. Блок-схема управления асинхронным двигателем с использованием АИТ и АИН

У классических схем трёхфазного АИН и АИТ, как было сказано выше схожи входные и выходные электрические параметры. Форма выходного фазного тока инвертора тока совпадает с формой линейного напряжения инвертора напряжения, данные соотношения можно записать следующим образом:

$$i_{a\text{АИТ}} \sim u_{ab\text{АИН}} \quad (1)$$

$$i_{b\text{АИТ}} \sim u_{bc\text{АИН}} \quad (2)$$

$$i_{c\text{АИТ}} \sim u_{ca\text{АИН}} \quad (3)$$

Оперируя данными соотношениями, можно заключить, что реализация СУ, для трёхфазного АИТ сводится к созданию импульсов управления ключами, которые будут обеспечивать формирование фазного тока по форме, повторяющей форму линейного напряжения АИН.

В данной работе рассматривается особенность управления АИН и АИТ и её унификация. Основное различие в управлении вышеупомянутых преобразователей заключается в разном способе управления, одной и той же логической системой управления.

*С.А. Михайлов, А.Е. Баннов, студенты;
рук. И.И. Журавлев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕРВЕРА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ SCADA СИСТЕМЫ В ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время в электроэнергетике актуальна проблема управления и сбора данных устройств в составе электрической сети. Для этих целей применяются SCADA системы, в которых сервер базы данных функционирует посредством логической модели.

Целью работы является разработка концепции работы сервера базы данных в составе SCADA системы в объектах электроэнергетики на основе разработанной логической модели (рис.1). Предлагаемая логическая модель систематизирует данные, обрабатываемые сервером базы данных, с получаемой информацией от подключенных к SCADA системе объектов электроэнергетики, а также от пользователей. Обрабатываемым данным в такой логической модели присваивается свой тег, представляющий собой непосредственно информацию, и идентификатор, описывающий свойства данных.

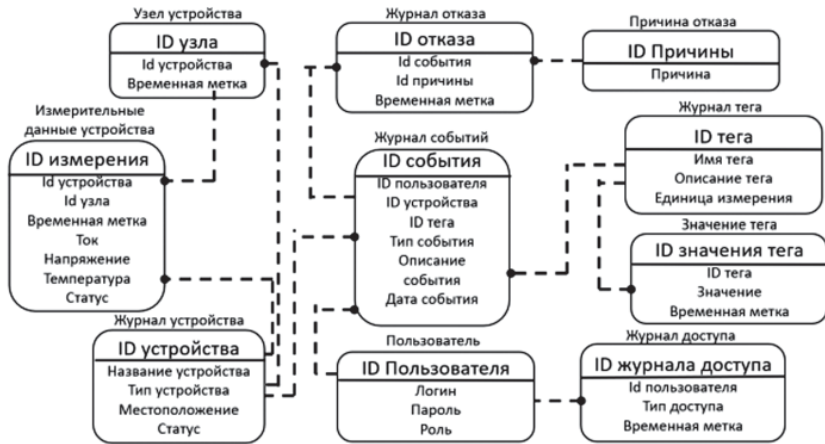


Рис. 1. Логическая модель сервера базы данных для цифровой инфраструктуры

Литература

1. **Советов Б.Я.** Базы данных: учебник для вузов — Текст: электронный — URL: https://studme.org/35664/informatika/bazy_dannyh
2. **Яковлева А.А.** БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ SCADA-СИСТЕМЫ КУСТОВОЙ ПЛОЩАДКИ // СТУДЕНЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ. — 2020. — С. 16–22.

А.С. Мухин, студ.; рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время повышение энергетической эффективности является одной из основных задач в различных областях, включая энергетику. В традиционных импульсных источниках питания эффективность ограничена потерями энергии в коммутационных элементах. Использование резонансных преобразователей является одним из методов для достижения цели повышения КПД источников питания, к которым предъявляются требования снижения массо-габаритных показателей.

В работе представлен сравнительный анализ технических характеристик источников питания с DC-DC преобразователем и с использованием различных резонансных контуров.

Результаты проведенного анализа показали, что использование резонансного LLC-преобразователя способствует повышению КПД. В работе предложена методика разработки LLC-преобразователя, направленная на снижение трудозатрат при проектировании и настройке силовой части источников питания.

Рассмотрены характеристики резонансного LLC-преобразователя, в котором индуктивность рассеяния и намагничивания, заложенные в структуру трансформатора, непосредственно включены в резонансный контур (рис. 1).

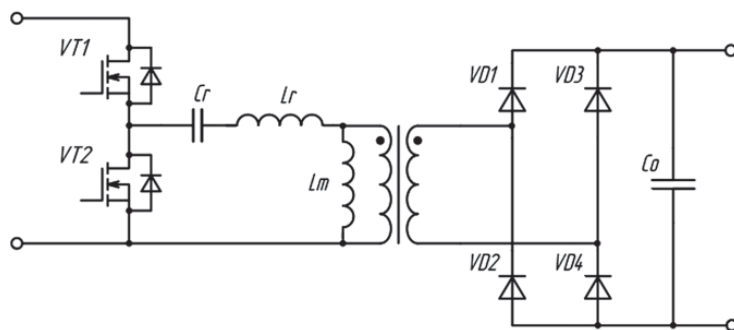


Рис. 1. Схема LLC-преобразователя

Литература

1. Мелешин В.И., Д.А. Овчинников. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии // Техносфера, 2011.
2. Sam A.R. Resonant LLC Converter: Operation and Design. Application Note AN2012-09. — 2012. — Infineon Technologies North America (ITNA) Corp.

Е.С. Сизова, студ.; рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ДВУХКАНАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Современные электрические сети характеризуются активным оснащением энергообъектов цифровыми микропроцессорными устройствами — УСПД, АСТУ, АСКУЭ, РЗА, коммуникационные контроллеры, коммутаторы и др. Многие из таких устройств цифровизации с целью уменьшения массогабаритных характеристик реализованы с питанием от источников постоянного напряжения. Наиболее популярными уровнями являются 5, 12, 24 В. При этом, в настоящий момент электросетевые компании требуют реализации систем питания собственных нужд подстанции (СН ПС) через устройства стабилизации с напряжением 220 В на выходе [1]. Таким образом, реализация на ПС, особенно цифровых, систем оперативного постоянного тока (СОПТ), а также основных цепей собственных нужд на переменном токе сопровождается обычно их оснащением большим количеством источников питания: AC/AC, AC/DC, DC/DC. Такой подход не является комплексным и может приводить к повышению сложности схем СН ПС, повышению капитальных и эксплуатационных затрат, снижению надежности.

В рамках данной работы предлагается разработка унифицированного надёжного двухканального источника питания для СН ПС, сочетающего в одном компактном корпусе возможность формирования на выходе как переменного, так и постоянного стабилизированного напряжения, что является принципиально важным для использования в составе современного энергетического комплекса.

В ходе разработки был проведен сравнительный анализ топологий различных вариантов реализации двухканального преобразователя. При выборе подходящего варианта предпочтение отдавалось наиболее простым и доступным по цене схемотехническим решениям, что, несомненно, облегчило бы внедрение данного источника питания в состав энергетических объектов. Результаты анализа показали, что для источника питания 300 Вт оптимальным схемотехническим решением является: 1-й канал — 200 Вт AC 220 В частотой 50 Гц — на базе мостового DC/DC преобразователя и мостового инвертора; 2-й канал — 100 Вт DC 24 В, на однотактном обратнотокном преобразователе с активным ограничением напряжения.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе»: протокол заседания от 02.04.2022 № 450 — С. 46–47.

Г.Ф. Сергеичев, студ.;
рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ СХЕМЫ УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ

В работе решаются задачи, связанные с разработкой учебного лабораторного стенда по системам прямого цифрового управления преобразовательной техникой для студентов специальности «11.04.04 Электроника и Нанoeлектроника».

Актуальность проблемы связана с отсутствием готовых учебных лабораторных стендов, в которых предоставляется возможность запрограммировать систему управления преобразователей различных видов и изучить алгоритмы работы подобных систем. Имеющиеся на рынке решения представляют собой либо стенды для изучения микропроцессорных систем, либо стенды для изучения преобразовательной техники без возможности подключения внешней системы управления.

Сложность создания подобного стенда следует из большого разнообразия топологий преобразователей электрической энергии. Несмотря на то, что многие полупроводниковые преобразователи электрической энергии имеют общую компонентную базу, имеющиеся в топологиях отличия не позволяют простыми способами создать унифицированные блоки для построения преобразователей различных топологий с малым количеством переключений и приемлемыми массогабаритными параметрами. Помимо этого, требуется интегрировать большое количество различных датчиков физических величин и предусмотреть различные способы их включения для обеспечения возможности реализации как обратных связей, так и программных защит. Немаловажной частью силовой схемы учебного лабораторного стенда являются встроенные защиты, работающие независимо от программируемой обучающимся системы управления и обеспечивающие защиту от возможных некорректных сигналов управления программируемой системы управления и возможных аварийных последствий.

Основной задачей данной работы стал поиск оптимального решения по созданию универсальной схемы, позволяющей получить максимальное количество топологий полупроводниковых преобразователей электрической энергии.

Литература

1. **В.И. Мелешин** — Транзисторная Преобразовательная Техника, изд. Техносфера, Москва, 2005.

*М.С. Волонин, А.А. Громков, Р.Р. Ибрагимов,
В.А. Козлов, студенты;
рук. М.Г. Асташев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУР ОДНОФАЗНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ИНВЕРТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ

Современные тенденции в энергетике заставляют всё больше обращать взор на возобновляемые источники энергии. Одним из направлений возобновляемой энергетики является солнечная энергия. Устройство преобразовательной техники, позволяющее связать энергию солнца и её применение в быту — солнечный инвертор, работающий параллельно с сетью. Силовая часть такого устройства, как правило, состоит из двух каскадов: преобразователя постоянного напряжения (DC-DC) и инвертора напряжения (DC-AC). Классическим решением включения двух этих схем является вариант, когда нулевой потенциал солнечной панели объединён с нулевым потенциалом выхода DC-DC Рисунок 1.

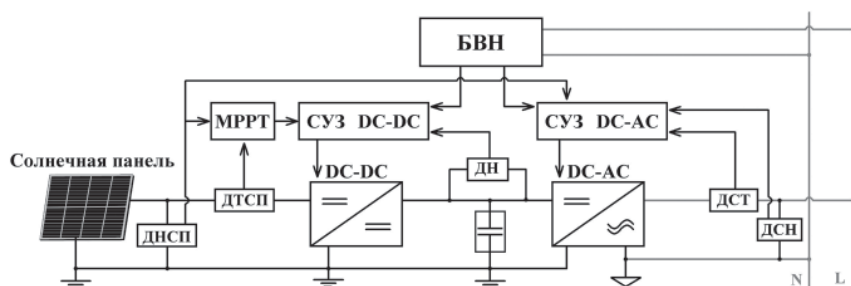


Рис. 1. Структурная схема солнечного инвертора с общей нейтралью

Однако данная структура накладывает некоторые ограничения на выбор силовых каскадов. Поэтому в данной работе предлагается создание имитационных компьютерных моделей, соответствующих, различным структурам включения, а также их сравнительный анализ с точки зрения энергоэффективности, количества полупроводниковых приборов, сложности проектирования отдельных узлов и функционала каждой из схем.

*Р.Р. Ибрагимов, М.С. Волонин, Д.С. Рославцова, студенты;
рук. М.Г. Асташев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ НЕОБХОДИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕКТОРНОГО БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Векторное бездатчиковое управление асинхронными двигателями представляет собой передовой метод в области автоматизированных электроприводов. Этот метод управления, основанный на сложных математических алгоритмах и электронном регулировании, позволяет достигать высокой степени контроля над работой двигателя без использования датчиков положения ротора. Такая технология значительно повышает эффективность и гибкость в различных применениях, от промышленного производства до высокоточного оборудования. Ключевым аспектом эффективности такого метода управления является зависимость от точности и качества данных, собираемых с датчиков тока и напряжений. Данные параметры имеют критическое значение, поскольку они обеспечивают основу для всех вычислений и регулировок, выполняемых системой управления. Точность этих измерений напрямую влияет на способность системы корректно интерпретировать состояние двигателя и адекватно реагировать на изменения в его работе. Важным этапом в разработке системы векторного бездатчикового управления асинхронного двигателя является определение минимальных технических и функциональных требований к датчикам тока и напряжения. Эти требования являются фундаментальными для обеспечения достаточной точности и надежности в процессе управления. Они включают в себя параметры, такие как диапазон измерений, точность, быстродействие, устойчивость к помехам и долговечность.

В работе были проанализированы существующие решения в области датчиков токов и напряжений, для применения в системах векторного управления. Разработана математическая модель для оценки влияния точности датчиков на общую эффективность системы управления. Были сформулированы основные требования к датчикам токов и напряжений, а также составлена методика по выбору датчиков для различных типов асинхронных двигателей.

А.Р. Родионов, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Литий-ионные аккумуляторные батареи, состоящие из последовательно соединенных литий-ионных элементов, обязательно должны иметь систему балансировки. Литий-ионные элементы в составе батареи имеют разные значения степени заряженности, а это ограничивает доступную емкость всей батареи. Разбалансировка аккумуляторной батареи происходит из-за различия токов саморазряда литий-ионных элементов и еще сильнее проявляет себя при различии тепловых режимов и разной степени износа каждого элемента.

Существует и используется большое количество вариантов систем балансировки, различающихся по степени сложности, области применения, стоимостью и размерами. Пассивные системы балансировки наиболее простые в реализации, однако при их использовании энергия перезаряженных элементов рассеивается в виде тепла. Активные системы, например, на основе обратного преобразователя, позволяют эффективно распределять излишки энергии между элементами, но их недостатком является сложность реализации, большие размеры и стоимость. Общим недостатком традиционных систем балансировки является наличие большого количества физических соединений. Провода требуют трасс для прокладки, ручной прокладки при сборке, добавляют вес и вследствие увеличивают себестоимость аккумуляторной батареи.

Таким образом, наблюдается тенденция развития и внедрения беспроводных систем балансировки батареи, в которых модуль контроля и управления взаимодействует с силовой частью системы балансировки посредством беспроводной связи. Это открывает новые возможности для использования литий-ионных аккумуляторов.

В работе предложена структура беспроводной системы балансировки аккумуляторных батарей, выявлены преимущества и недостатки использования данной системы, а также проведена оценка эффективности беспроводной системы.

М.А. Короткий, студ.; рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИБП С БЫСТРЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ

Источник бесперебойного питания (ИБП) используют для обеспечения работы электронных устройств в случае выхода из строя или за пределы номинального значения напряжения сети. ИБП бывают двух типов: с постоянным питанием нагрузки (on-line), рис. 1а, и подключаемым ИБП к нагрузке в случае поломки основной сети (off-line), рис. 1б [1, 2]. Основным недостатком on-line ИБП заключается в низком КПД системы из-за постоянной передачи энергии из одного состояния в другое, поэтому в большинстве случаев используют off-line ИБП. Минусом off-line ИБП являются задержки в работе ключей при переходе от сети на питание от аккумуляторной батареи (АБ) или наоборот. Основным требованием к процессу переключения в данном случае становится минимизация времени, в течение которого питание нагрузки отсутствует. Для сокращения этого времени требуется сократить время обнаружения отсутствия сети. С другой стороны, требуется исключить ложные переключения, связанные с влиянием помех и искажений сети.

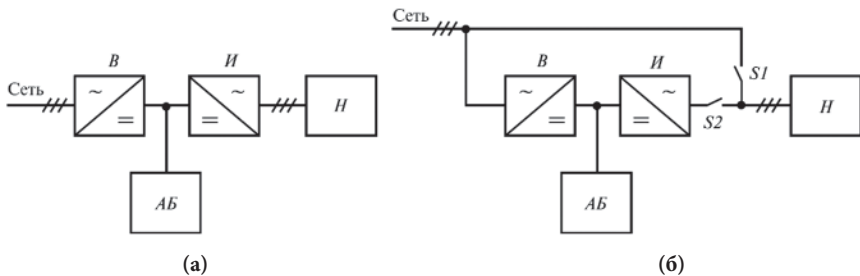


Рис. 1.

Целью работы является определение самого быстрого, доступного и надежного способа обнаружения отсутствия сети и переключения на автономный источник питания. Исследование проведено на основе аналитических расчетов и численного моделирования в среде Matlab Simulink.

Литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника. Издательский дом МЭИ, 2016.
2. Забродин С.Ю. Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1982.

*О.С. Маслов, А.В. Суворин, студенты;
рук-ли А.В. Башкиров, д.т.н, доц.,
зав. каф. КИПР (ВГТУ, Воронеж),
Н.Г. Калугин, к.т.н. (ООО «КВ Системы», Воронеж)*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Сейчас широко распространены движущиеся аппараты с аккумуляторным питанием: это различного рода летающие беспилотные авиационные систем, электромобили и наземные беспилотные системы. Все они нуждаются в периодическом заряде аккумуляторных батарей. Наиболее часто их заряжают с помощью подключения к электросети по проводу, однако сейчас развиваются технологии беспроводной передачи энергии [1].

Существует несколько способов беспроводной передачи энергии: один из них основан на явлении магнитосвязанного резонанса, который подходит для передачи энергии на небольшие расстояния [2].

Был разработан стенд, состоящий из резонансного преобразователя напряжения и двух магнитосвязанных катушек. Затем были проведены исследования работы резонансного преобразователя и зависимости таких параметров, как КПД, частота работы и передаваемая мощность от взаимного расположения катушек.

На рис. 1 изображена структурная схема, включающая в себя функциональные части преобразователя и измерительные приборы, где БП — лабораторный источник питания, А — амперметр, ПРД — передатчик, СУ — система управления, Инд. прд. — передающий индуктор, Инд.прм. — приемный индуктор, Load — нагрузка, OSC — осциллограф. Результаты исследований будут представлены в докладе.

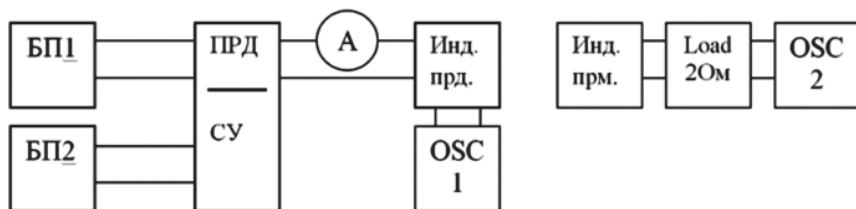


Рис. 1. Схема структурная преобразователя

Литература

1. С.А. Бурманов, А.А. Литвинов. Анализ существующих беспроводных зарядных станций для электротранспорта // сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием. 2020. — С. 582–584.
2. Е.А. Гарист, Деркач Н.Р. Беспроводная передача электроэнергии // Материалы студенческой научно-технической конференции. 2021. — С. 566–568.

*Е.С. Брянцева, И.Б. Яковлев, студенты;
рук. И.П. Воронин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ТОПОЛОГИЙ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для применения двухтактного однофазного мостового преобразователя на относительно большую мощность нагрузки (4...6 кВт) используется фазовый принцип управления, снижать энергию коммутационных потерь при сохранении высокого КПД. При данных значениях мощности нагрузки в качестве первичного источника энергии, как правило, используется трехфазная сеть переменного тока напряжением 220В/380В. Для улучшения коэффициента мощности, потребляемой от входной трехфазной сети, применяют трехфазный обращенный инвертор (активный выпрямитель напряжения — АВН).

Поскольку обращенный инвертор является повышающим преобразователем, его постоянное напряжение на выходе увеличивается более чем в два раза по отношению к амплитуде входного напряжения сети. Для параметров напряжения трехфазной сети 220В/380В оно составляет обычно от 600В до 1000В. Аналогичным образом увеличивается и входное напряжение мостового преобразователя. Таким образом, в топологии однофазного моста его ключевые компоненты будут находиться под полным напряжением положительной шины питания.

Используемые в указанном диапазоне напряжений МДП-транзисторы обладают относительно высоким сопротивлением проводящего канала. В результате в преобразователе постоянного тока значительно увеличиваются статические потери проводимости.

Одним из вариантов решения проблемы в указанном диапазоне напряжений и мощностей является использование биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). Однако в этом случае практически на порядок уменьшается частота коммутации, в результате чего растут массогабаритные показатели и снижается плотность мощности преобразования.

Поэтому, чтобы справиться с проблемой повышенного напряжения, предлагается для построения преобразователя постоянного тока использовать трехуровневую топологию, двукратно снижающую рабочее напряжение на силовых ключах. Отметим, что данная топология, как и топология однофазного моста, имеет в своем составе четыре силовых транзистора, управляемых по аналогичному алгоритму с фазового сдвигом.

Литература

1. **В.И. Мелешин.** Транзисторная преобразовательная техника // Техносфера, 2005, — 632 с.

*В.А. Козлов, М.С. Волонин, студенты;
рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В настоящее время актуальной является проблема оценки электромагнитной совместимости мощных импульсных устройств силовой электроники, работающих на частотах порядка сотен килогерц, ввиду того что в преобразователях такого класса сильное влияние начинают оказывать паразитные параметры электронных компонентов, а также электромагнитные помехи, генерируемые ключевыми приборами и влияющие на собственные цифровые элементы управления и передачи сигналов [1].

Одним из методов анализа электромагнитной совместимости является построение компьютерной модели проектируемого преобразователя с помощью прикладных программных пакетов Ansys SiWave и Ansys Electronics Desktop. Отличительной особенностью является возможность экспортировать печатную плату из средства современного автоматизированного проектирования Altium Designer, что существенно сокращает время, затрачиваемое на создание компьютерной модели, достоверности которой достаточно для корректной оценки электромагнитного взаимодействия между электронными компонентами и проводящими элементами устройства. Например, представляется возможность определить минимально допустимое расстояние между проводниками, наиболее оптимальную геометрию и расположение полигонов относительно друг друга, необходимость использования экранирующих проводящих слоёв, а также упрощается процесс анализа влияния индуктивных и емкостных параметров компонентов на всплески и провалы напряжений, которые в некоторых случаях могут привести к неработоспособности спроектированного устройства в реальных условиях эксплуатации, что в свою очередь, требует к возврату на стадию научно-исследовательской работы, требующей дополнительные временные затраты.

Литература

1. **Bogatin, Eric.** Signal and power integrity — simplified / Eric Bogatin. — 2nd ed.

И.Л. Алексеев, студ.; рук. О.В. Наумов, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Современные частотные преобразователи пользуются биполярными транзисторами с наличием изолированного затвора для эффективного обеспечения выходной кривой широтно-импульсного типа. Эта кривая необходима для осуществления управления этими двигателями. Такие устройства достаточно быстро могут переключать уровень фиксированного напряжения шин с постоянным током и при этом создают кривую ШИМ с переменным напряжением, а также с переменной частотой. Такое скоростное изменение напряжения может быть основным источником электромагнитных помех, которые генерирует частотный преобразователь.

Другая проблема — вокруг привода возникает особенная напряженность магнитных полей, которая может быть пропорциональна общей частоте токовых импульсов в проводе. Такие скоростные импульсы тока способны передавать более сильный шумовой сигнал в отличие от обычного синусоидального тока. Это приводит к слышимому гудению в остальном оборудовании, возможности нестабильного изображения на мониторах, возможности ненадежной передачи информации либо наличию интерференции чувствительного оборудования.

Третья проблема заключается в том, что потребление электроэнергии происходит в импульсах, а уровень напряжения равен уровню тока, который умножен на системный импеданс, то форма кривой напряжения не является синусоидальной.

Появление высших гармоник в электросети, порождает неблагоприятные явления для оборудования, (перегрев электродвигателей, трансформаторов, кабелей и потерю электроэнергии, вибрацию, шум). Поэтому, применение преобразователей частоты должно сопровождаться использованием активных фильтров LC, соответствующих мощности электродвигателей. Это обеспечит режим работы электросети при котором коэффициент нелинейных искажений тока и напряжения будет меньше 10%.

Литература

1. **Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С.** Применение преобразователей частоты путь повышение эффективности работы оборудования на шахте / 13 Международная научная школа молодых ученых и специалистов ИПКОН-РАН. — М., 2016.

В.А. Ионова, рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕЗОНАНСНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ

В данной работе решаются задачи, связанные с созданием резонансного источника электропитания, обладающим высокой точностью и максимально возможными маленькими размерами.

Актуальность проблемы связана с отсутствием резонансных преобразователей, созданных на отечественной элементной базе, имеющих небольшой размер и работающих на высоких частотах.

Основная сложность состоит в выбранной нагрузке для преобразователя. В настоящее время активно развиваются и широко применяются GaN СВЧ мощные транзисторы. При использовании таких транзисторов разработчик решает ряд задач по обеспечению стабильного питания, отсутствия «состояния неопределенности» в момент открытия и закрытия транзистора, наличия высокого КПД. Необходимо следить, чтобы транзистор не выходил из рабочей дельты температуры и области безопасной работы. Кроме того, существует возможность пере-напряжения затвора транзистора. Оно может возникнуть в результате эффекта Миллера. Несмотря на меньшую емкость между стоком и затвором (CGD), чем у классических MOSFET, этот эффект проявляется и в GaN-транзисторах. При резком изменении напряжения на стоке транзистора (высоком dv/dt) напряжение на затворе может увеличиться из-за протекания тока через эквивалентные емкости. Необходимо учесть высокую температуры работы GaN транзисторов [1].

Решение — создание одноконтурного резонансного преобразователя, работающего на высокой частоте, осуществляющего подачу необходимого напряжения и осуществляющего плавное изменение напряжения на затворе транзистора. Кроме того, такой источник должен быть устойчив к температуре, иметь повышенную стабильность. Одной из особенностей РП является процесс переключения транзистора. Из-за того, что ток на ключе за время переключения близок к нулевому значению, устраняются потери на включение и выключение. Такой преобразователь может работать на более высоких частотах, чем обычные ШИМ и имеет более высокий КПД [2].

Литература

1. **Александр Серяпин.** «Некоторые особенности управления GaN-транзисторами». Силовая электроника, № 5'2018
2. **В.И. Мелешин.** Транзисторная Преобразовательная Техника, изд. Техносфера, Москва, 2005.

*М.С. Павлова, В.Д. Громов, студенты; Д.В. Мостовой, асп.;
рук-ли И.П. Воронин, д.т.н., проф.;
Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Высоковольтные источники питания играют значительную роль в функционировании различных электротехнических устройств. В ряде задач источник питания должен совмещать в себе высокий уровень напряжения, мощности и стабильности, например, в электронно-лучевой сварке. Для получения требуемой высокой точности необходимо осуществлять соответствующее регулирование и стабилизацию выходного напряжения источника.

В работе рассматриваются способы управления выпрямительной ячейкой, входящей в состав мощного источника питания, выполненного на основе токовой петли и многоячейковой структуры. Уровень выходного напряжения источника более 50 кВ, мощность более 20 кВт, точность стабилизации выходного напряжения не менее $\pm 0,15\%$. Каждая ячейка источника управляется таким образом, что напряжение на ее выходе стабилизируется на заданном уровне. Следовательно, стабилизируется и общее выходное напряжение источника, так как оно является суммой этих напряжений. В основу подхода к построению систем управления выпрямительной ячейки заложено фазовое управление с обратной связью по выходному напряжению ячейки. Для достижения высокой точности стабилизации выходного напряжения в состав системы управления включен ПИ-регулятор [1]. Разработка системы управления проводится на основе аналитических и численно-аналитических расчетов, имитационного моделирования и экспериментального исследования разработанного макета устройства для конкретного промышленного применения (электронно-лучевая сварка).

Исследование было выполнено в рамках проекта «Разработка и исследование подхода к построению мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ» при поддержке гранта для реализации научно-исследовательских программ «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. от НИУ «МЭИ».

Литература

1. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. Москва: Техносфера, 2011. — 576 с. ISBN 978-5-94836-260-1.

А.Г. Снытко, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫСТРЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЯХ

С появлением большего количества электромобилей на дорогах быстрые зарядные станции становятся все более важной частью инфраструктуры городов и транспортной сети в целом. Быстрые зарядные станции обеспечивают возможность быстрой подзарядки аккумуляторов электромобилей, что позволяет значительно сократить время, затраченное на заправку, делая их более удобными и доступными для водителей в городе и в дальней поездке.

Однако подключение большого количества станций непосредственно к сети может приводить к пиковому потреблению энергии, что может вызвать перегрузку и нестабильность сети. Использование преобразователя для накопителя быстрой зарядной станции позволяет сглаживать пики потребления энергии и дает возможность быстрым зарядным станциям поддерживать постоянный поток энергии при зарядке нескольких электромобилей одновременно. Также, накопители могут заряжаться в периоды пониженного спроса и использоваться для быстрой зарядки в период пикового спроса, обеспечивать стабильное напряжение, используя запасы энергии.

Таким образом, наблюдается тенденция развития и внедрения накопительных систем в быстрых зарядных станциях. Это открывает новые возможности и перспективы в улучшении скорости зарядки, в эффективном использовании электроэнергии, в улучшении стабильности энергоснабжения, а также в экономической составляющей.

В работе проведен анализ различных схемотехнических решений преобразователя для накопителя электроэнергии, их эффективности и пригодности для использования в быстрых зарядных станциях. Также изучено влияние использования накопителей электроэнергии на мощность и стабильность зарядных станций, а также разработаны соответствующие математические модели.

И.В. Манухин, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СХЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Литий-ионные аккумуляторы в настоящее время широко применяются в портативных устройствах, электромобилях и системах хранения энергии. Как и все устройства, литий-ионные аккумуляторы необходимо тестировать на соответствие основным параметрам, которыми являются, например, емкость и внутреннее сопротивление.

Аккумуляторы тестируются на заводе для первичной тренировки и контроля качества, в лабораториях для снятия характеристик и построения моделей, при ремонте батарей, перед утилизацией, когда батарею разбирают на части и выявляют наилучшие для повторного использования.

Тестирование производится на специальных стендах, которые позволяют производить заряд и разряд требуемым напряжением и током. Как правило, такие стенды делаются многоканальными для сокращения времени тестирования всех элементов аккумуляторной батареи.

В составе стенда должен присутствовать преобразователь, который будет заряжать литий-ионный аккумулятор и разряжать его, а также элемент куда будет отводиться энергия при разряде. Самый простой способ — использовать отдельные преобразователи для заряда и разряда аккумуляторов, а энергию выводить через резистор в тепло. Такой способ хорошо подходит для исследовательских целей, но имеет низкую энергоэффективность при массовом тестировании. Более продвинутый вариант подразумевает использование двунаправленного импульсного преобразователя с рекуперацией энергии обратно в сеть.

В работе произведено сравнение структурных схем, а также представлены различные варианты схемотехнических решений построения преобразователей для испытательных стендов. Произведено имитационное моделирование преобразователей, а также технико-экономический анализ.

О.А. Гамаонов, студ.; рук. Мье Мин Тант, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ОДНОФАЗНЫЙ МНОГОУРОВНЕВЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ С АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В ряде областей техники возникает задача преобразования напряжения постоянного тока в однофазное или трёхфазное квазисинусоидальное напряжение повышенной мощности (до 1 МВА и более). Для построения таких инверторов (в однофазном варианте обозначаемых далее, как ОИН) единичной мощности реально располагаемых ключевых элементов (КЭ), чаще всего, не хватает. В этом случае для решения поставленной задачи в зависимости от конкретного применения используют или параллельное, или последовательное их соединение. Для выравнивания токов и напряжений на КЭ при этом приходится использовать резистивные или резистивно-ёмкостные цепочки, шунтирующие КЭ, что приводит к усложнению технологии изготовления и к понижению КПД этих устройств. Отметим также ещё один недостаток — с ростом числа КЭ алгоритмы их управления остаются прежними, следовательно, масса выходных фильтров, если они используются, также остаётся прежней.

В настоящей работе рассматривается принцип построения нового класса ОИН повышенной мощности при использовании для решения задачи располагаемой ограниченной по единичной мощности КЭ — транзисторов. В основу решения задачи положен принцип M канального преобразования (МКП) энергетического потока. Для инвертирования напряжения в каналах используется алгоритм однополярной ШИМ (ОШИМ). После суммирования токов M каналов (с помощью M обмоточных трансформаторов — ТФ- M) на выходе M -ОИН формируется многоуровневое напряжение с амплитудно-широотно-импульсной модуляцией (АШИМ), которая обеспечивает минимизацию массы выходных фильтров.

Результаты получены для простейшего варианта 2-ОИН (т.е. с $M = 2$) [1]. Полученные результаты показывают, что данное направление структурно-алгоритмического синтеза M -ОИН удовлетворяет современным тенденциям развития силовой преобразовательной техники. В докладе приводятся результаты исследования показателей качества одноканальной и двухканальной структур M -ОИН с ШИМ в каналах, полученные с помощью имитационного компьютерного моделирования в среде *OrCAD*.

Литература

1. Патент RU 2 804 997, H02M 7/48. Однофазный инвертор напряжения с многофазной широтно-импульсной модуляцией / Авторы: Г.С. Мыцык, Мье Мин Тант. Опубл. 10.10.2023, Бюл. № 28.

А.А. Корнеенко, Д.А. Серегин, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

КАСКАДНАЯ СТРУКТУРА ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИНВЕРТОРА

Силовая часть инвертора представляет собой транзисторный мостовой коммутатор. Для получения высокого КПД транзисторы мостового коммутатора должны работать в режиме переключения. В результате на его выходе можно сформировать различные периодические последовательности прямоугольных импульсов напряжения.

При проектировании важно выбирать структуру устройства, поскольку она играет важную роль в достижении требуемой функциональности, надёжности.

Каскадная структура способна достичь высоких уровней выходного напряжения, используя только стандартные низковольтные технологические сформировавшиеся компоненты. Схема для расчёта представлена на рис. 1. Обычно, необходимо подключить от трёх до десяти инверторов последовательно, чтобы достичь требуемого выходного напряжения. Данные преобразователи также обладают таким качеством как высокая степень модульности, потому что каждый инвертор можно рассматривать как отдельный модуль с аналогичной топологией схем, структурой управления и модуляции. Поэтому, в случае неисправности в одном из этих модулей, возможно, заменить его быстро и легко. Более того, используя соответствующий способ управления, возможно, обойти неисправный модуль, не отключая нагрузку, что влечёт за собой длительную работоспособность.

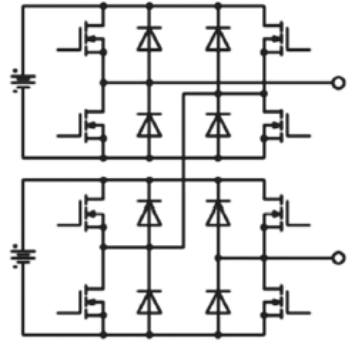


Рис. 1. Каскадная структура многоуровневого инвертора

Литература

1. Анисимова Т.В. Методы формирования импульсных напряжений на входе фильтров инверторов систем электрооборудования летательных аппаратов : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : Авто-реферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук ; Московский Авиационный институт — МАИ. Москва, 2013. 27 с.

Д.Д. Лыков, студ.; рук. Д.А. Серёгин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ШИМ ДЛЯ ИСТОЧНИКА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ЧАСТОТОЙ 400 ГЦ

В данном докладе были исследованы преимущества и недостатки основных способов модуляции импульсного напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН). Рассматривается случай коммутации ключей инвертора на высоких частотах от 40 кГц. Для получения переменного напряжения используется АИН, построенный по мостовой схеме с однофазной нагрузкой (рис. 1).

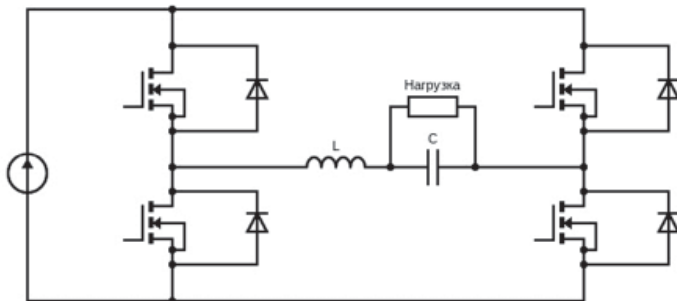


Рис. 1. Схема АИН с однофазной нагрузкой с выходным фильтром

В докладе различные варианты широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сравниваются исходя из: качества получаемого сигнала, влияния погрешностей управления и способы борьбы с ними, сложности реализации с точки зрения схемотехники системы управления и самой силовой части преобразователя. В первую очередь были рассмотрены варианты односторонней и двухсторонней ШИМ на базе АИН. На основе компьютерной модели в среде моделирования Matlab и теоретических расчетов, с использованием параметров из [1], по итогам работы было проведено сравнительное исследование данных видов модуляции, а также предложены схемотехнические решения для борьбы с искажениями, вызванными необходимостью переключения силовых ключей.

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.

И.Д. Шнякин, студ.; рук. М.Г. Асташев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ОДНОФАЗНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ОДНООПЕРАЦИОННЫХ ТИРИСТОРАХ

На сегодняшний день одним из важнейших областей развития автономных преобразователей является разработка инверторов тока и напряжения. Данные преобразователи используются во многих сферах жизни, начиная от промышленности, заканчивая домашним бытом. Также растут и требования к разработке устройств, такие как повышение качества питания и массогабаритные характеристики.

В данной работе рассматривается DC/AC преобразователь, в основе которого лежит мостовой инвертор напряжения с использованием высокочастотных однооперационных тиристоров. В исследовании представлены принцип работы данного преобразователя, его достоинства и недостатки. Кроме того, схема рассмотрена при различных видах управления, а также при использовании разных элементов схемы в автономном инверторе, включая выбор из нескольких видов трансформаторов.

Целью данной работы является нахождение наиболее подходящих компонентов для выполнения поставленных задач. Также выбор лучших компонентов и топологии обуславливается массогабаритными, энергетическими и экономическими параметрами.

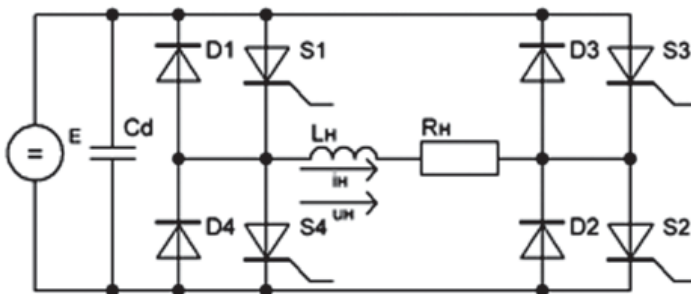


Рис. 1. Структурная схема автономного инвертора напряжения

В.В. Кочетов, студ.; рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КОРРЕКТОРОМ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Исследование способов управления корректором коэффициента мощности в устройствах преобразовательной техники является важной задачей в области электроники и электротехники. Корректор коэффициента мощности (ККМ) используется в преобразовательной технике для снижения нагрузки на электрическую сеть. В преобразователях переменного тока в постоянный ток (AC-DC), таких как источники вторичного электропитания, корректор коэффициента мощности (ККМ) исключает разность фаз между напряжением сети и потребляемым от сети током, а также снижает гармонические искажения тока. Это позволяет снизить потери энергии, увеличить эффективность работы системы и снизить нагрузку на электрическую сеть. Проводится сравнительный анализ способов управления ККМ. Каждый способ управления ККМ обладает своими особенностями и применим в зависимости от поставленной задачи. Для каждого способа управления проводится анализ эффективности, надежности и других технических характеристик. Исследуются возможности управления корректором коэффициента мощности (ККМ), включая метод управления на основе управления по току, с помощью реле и другие.

Целью работы является сравнение способов управления по эффективности уменьшение коэффициента искажения тока сети для (AC-DC) преобразователя, а также определение особенностей каждого из представленных способов управления с точки зрения практической реализации. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых устройств или для улучшения существующих систем.

Исследование проведено на основе аналитических расчетов и численного моделирования в среде MATLAB Simulink.

Литература

1. **Мелешин В.И., Овчинников Д.А.** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. М: Техносфера, 2011.
2. **Овчинников Д.А., Кастров М.Ю.** Классификация однофазных корректоров коэффициента мощности // Практическая силовая электроника. 2003.

В.В. Долгушев, студ.; рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНВЕРТОРОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Исследование схмотехнических решений инверторов для применения в составе преобразователя постоянного напряжения является важной задачей в области силовой электроники. Инверторы используются для преобразования постоянного напряжения в высокочастотное переменное с помощью электронных ключей. В ходе работы проводится сравнение различных типов инверторов — мостовой, полумостовой, трехфазный, многофазный (многоячейковый) [1, 2]. Один из примеров данного устройства — принципиальная схема однофазного мостового автономного инвертора напряжения на IGBT транзисторах, рис. 1. Каждый тип инвертора обладает своими особенностями и применением в зависимости от конкретной задачи. Для каждого типа инвертора проводится анализ эффективности, надежности и других технических характеристик. Исследуются возможности управления инверторами, включая метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), метод векторного управления и другие.

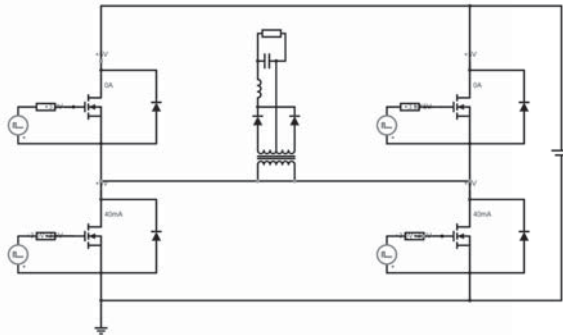


Рис. 1. Пример мостового инвертора напряжения

Целью работы является определение наиболее подходящего схмотехнического решения инвертора для конкретного преобразователя постоянного напряжения с учетом требуемых технических характеристик и условий эксплуатации. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых устройств или для улучшения существующих систем.

Исследование проведено на основе аналитических расчетов и численного моделирования в среде MATLAB Simulink.

Литература

1. **Розанов Ю. К.** Силовая электроника. Издательский дом МЭИ, 2016.
2. **Забродин С.Ю.** Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1982.

*В.А. Чумычкин, асп.; В.А. Магнитский, асп.;
рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары)*

МОДУЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТАМИ

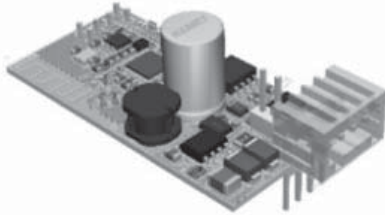


Рис. 1. Модуль Wi-Fi / Bluetooth

В настоящее время наблюдается тенденция к повсеместному внедрению беспроводной связи с автоматизированными устройствами для диагностики, настройки и управления со смартфона по интерфейсам Wi-Fi и Bluetooth. Это позволяет реализовать удобный пользовательский интерфейс и не требует использования дополнительного информационно-графического устройства

[1], что существенно снижает себестоимость изделия.

Для отечественной станции управления лифтами ШК6000 впервые разработан недорогой универсальный модуль беспроводной связи Wi-Fi / Bluetooth (рис. 1) для связи с приложением на смартфоне.

Отличительными особенностями решения являются малые габаритные размеры 46 x 23 мм с компактной меандровой инвертированной F антенной на печатной плате, дополнительный разъем для внешней антенны, встроенный источник питания, стандартный разъем для подключения к внутреннему интерфейсу CAN станции управления и связи с программным обеспечением центрального контроллера [2], возможность интеграции в систему «Умного дома» с обеспечением информационной безопасности.

Испытания модуля показали устойчивую связь по всей высоте шахты лифта. Наладчик оборудования может получить всю информацию о состоянии лифта, находясь на любом этаже в шахте и кабине лифта, что значительно ускоряет процесс пуско-наладки и диагностику неисправностей. В сложных случаях полученная информация может быть оперативно отправлена на рассмотрение производителю через приложение.

Литература

1. **Чумычкин В.А, Магнитский В.А. Галанина Н.А.** Информационное графическое устройство для лифтов // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов — Чебоксары : Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2023. — С. 232–236.
2. **Чумычкин В.А.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664435 Российская Федерация. Системное программное обеспечение центрального контроллера устройства управления приводами лифтов серии ШК6000 : № 2023663902 : заявл. 05.07.2023 : опубл. 05.07.2023.

*В.А. Чумычкин, В.А. Магнитский, аспиранты;
рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары)*

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬНЫЙ ПЛК ДЛЯ АСУ ТП

Выпускаемые российскими предприятиями программируемые логические контроллеры (ПЛК) в основном выполнены со структурой в виде отдельного программируемого блока процессора с подключением многоканальных модулей входов-выходов по внутренней последовательной шине. Для небольших задач предлагаются блоки процессоров со встроенным фиксированным набором входов-выходов. Поэтому для решения различных задач требуется большая номенклатура блоков с избыточным количеством входов-выходов.

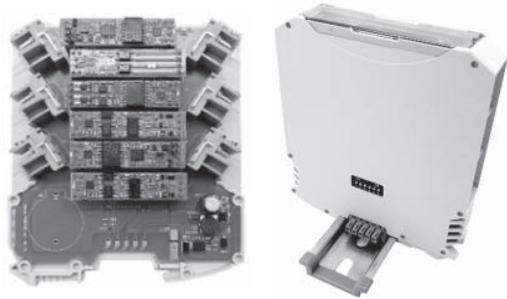


Рис. 1. Блок модульного ПЛК

В работе предложен и опробован новый вариант структуры ПЛК. Каждый блок ПЛК является самостоятельным процессором со встроенной колодкой на 6 позиций для установки малоканальных модулей (рис. 1). Блоки устанавливаются на DIN рейку и могут объединяться по встроенной в DIN рейку шину данных и питания 24В. Устанавливаемые малоканальные модули ввода-вывода являются интеллектуальными, выполнены с применением самого простого микроконтроллера, обмен с которым выполняется по последовательному каналу [1].

Каждый блок может программироваться на языках стандарта МЭК-61131-3 [2] или после простой настройки выполнять функцию управления отдельного узла АСУ ТП: регулятора, задвижки, заслонки, клапана, пускателей. Решение позволяет на единой базе реализовать автоматизацию как для малых, так и больших централизованных или распределенных задач АСУ ТП.

Литература

1. **Чумычкин В.А, Галанина Н.А.** Аппаратно-программная реализация внутренней шины обмена программируемого контроллера по последовательному каналу // Вестник ГГНТУ. Технические науки. — 2022. — Т. 18, № 2(28). — С. 53–62.
2. **Чумычкин В.А.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022667818 Российская Федерация. «Исполнительная система с поддержкой стандарта МЭК-61131-3 УСО 6000» (ИС-УСО 6000) : № 2022664112 : заявл. 26.07.2022 : опублик. 27.09.2022

Е.В. Гурьев, А.Н. Рожков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В данной работе решаются задачи, связанные с созданием комбинированного зарядного устройства для электромобилей, обладающего высоким КПД и максимально возможными маленькими размерами.

Актуальность проблемы связана с малым КПД современных зарядных устройств электромобилей, причиной этого является большое количество элементов в силовой части зарядного устройства.

Основная сложность состоит в разработке новой топологии силовой части зарядного устройства для электромобилей. В настоящее время зарядные устройства электромобилей состоят из AC/DC преобразователя для зарядки аккумулятора, DC/DC преобразователя, передающего энергию от аккумулятора, и инвертора, который передает электроэнергию в двигатель. Приведённая топология подразумевает разделение системы зарядки аккумулятора и электропитания двигателя, при использовании большого количества элементов в силовой части, что негативно сказывается как на КПД, так и на массогабаритных параметрах зарядного устройства. Однако в такой топологии легко обеспечить гальваническую развязку для обеспечения защиты двигателя и аккумулятора. При этом также стоит учитывать, что большое количество блоков в силовой части приводит к усложнению системы управления, которая также может требовать гальванически развязанного питания, что может также снижать КПД устройства. [1]

Решение — создание комбинированного зарядного устройства для электромобилей. В топологии силовой части такого устройства будет использоваться совмещение аккумулятора и инвертора, который может осуществлять коммутацию ключей по определённому алгоритму, чтобы работать как понижающий или повышающий преобразователь во время зарядки аккумулятора либо работать в стандартном режиме во время работы двигателя. При совмещении инвертора и аккумулятора можно уменьшить количество элементов в силовой части зарядного устройства, таким образом увеличить КПД и уменьшить массогабаритные параметры устройства. [2]

Литература

1. **Ivan S.** — «Single-Phase On-Board Integrated Battery Chargers for EVs Based on Multiphase Machines». In IEEE transactions on vehicular technology, NO. 9, september 2016, 6511-6523.
2. **Solero L.** — «Nonconventional On-Board Charger for Electric Vehicle Propulsion Batteries». IEEE transactions on vehicular technology, NO. 1, january 2001, 144-149.

Секция 10

ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Electronics and nanoelectronics

Председатель секции: к.т.н. Зезин Денис Анатольевич

Секретарь секции: к.т.н. Баринов Алексей Дмитриевич

С.В. Кирьянов, студ.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

СТМР ДАТЧИК: ВЗГЛЯД С ОСТРОВКА

Конечные объемы существующих информационных систем требуют всё более высокой плотности хранения данных. При этом возрастают требования к быстродействию, надежности и энергоэффективности электронных устройств. В связи с этим активно исследуются новые подходы к разработке и совершенствованию магниторезистивных датчиков, которые играют важную роль в магнитной памяти и датчиках полей [1].

Одним из вариантов модернизации существующих электронных девайсов является внедрение в конструкцию островковой тонкой пленки (ОТП) или использование подобной структуры в качестве базового элемента. ОТП может стать основным компонентом, используемым для создания спин-туннельных магниторезистивных датчиков (СТМР).

Целью работы является отработка режимов формирования островковых слоев ферромагнитных материалов и разработка спин-туннельного магниторезистивного датчика на основе многослойной островковой тонкой пленки.

Формирование островковых слоев никеля и кобальта проводили на лабораторном стенде контроля роста тонкопленочных покрытий, в который входят: разработанная на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана вакуумная технологическая установка МВТУ-11; пикоамперметр для контроля проводимости в процессе формирования покрытия; источник питания. Исследования топологии полученных покрытий проводили на сканирующем электронном микроскопе.

В результате проведенных исследований установлено, что СТМР на основе островковых слоев обладает чувствительностью, которая почти в 3 раза превышает чувствительность датчика в стандартной компоновке (то есть со сплошными слоями). Выявлено, что чувствительность зависит от размеров островков.

В дальнейшем планируется исследование по выявлению зависимости чувствительности СТМР датчиков от количества островковых слоев и латерального размера структур.

Литература

1. **Шерстнев И.А.** Электронный транспорт и магнитная структура систем наностростровов из ферромагнитных материалов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. 2014.

К.С. Макарук, студ.;
рук. И.Н. Мирошникова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕНСИБИЛИЗАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛЁНОК ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА

Халькогениды свинца с 30–40-х годов XX века применялись в оптико-электронных системах в качестве фоточувствительных элементов в ИК-области спектра. В соответствии с шириной запрещенной зоны при $T = 300$ К пленки PbS чувствительны в диапазоне от 1 до 3 мкм, а структуры на основе PbSe — от 1 до 5 мкм [1]. Типичные коммерческие области применения фоторезисторов в настоящее время включают: обнаружение пламени, сигнализацию, мониторинг загрязнения окружающей среды и т.д.

Поликристаллические пленки халькогенидов свинца могут быть получены различными физическими и химическими методами, но обязательным технологическим этапом является сенсбилизация («очувствление») в кислородосодержащей среде при термической обработке (отжиге) или введение кислорода в структуру в процессе нанесения пленки. Данный этап позволяет достичь наилучших фотоэлектрических параметров за счет изменения типа проводимости и увеличения времени жизни носителей заряда.

Для пленок селенида свинца, иногда и для пленок сульфида свинца, процесс «очувствления» состоит из двух этапов: окисление и йодирование. Йодирование представляет собой термическую обработку в парах йода [2] или добавление в реакционную ванну галогеносодержащих соединений при химическом методе осаждения [3].

Работа посвящена исследованию фотоэлектрических параметров тонкопленочных структур халькогенидов свинца в зависимости от технологии получения и методов сенсбилизации.

Литература

1. **Аксененко М.Д., Красовский Е.А.** Фоторезисторы. М.: Советское радио, 1973, 56 с.
2. **Suh, Y.** Effect of iodine pressure in the sensitization treatment on the structural and electrical properties of PbSe films / Y. Suh and S.H. Suh // *Infrared Sensors, Devices, and Applications*. — 2016. — V. 9974. — 997405. doi: 10.1117/12.2237284.
3. **Bakanov, V.M.** Thermosensitization of nanostructured PbSe films / V.M. Bakanov, L.N. Maskaeva, V.F. Markov // *Chimica Techno Acta*. — 2015. — V.2. — № 2. — P. 164–170. doi: 10.15826/chimtech.2015.2.2.018.

А.А. Афанасьев, асп.; рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРОВАНИЯ ДВУХ ФАКТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ АМОРФНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК НА ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Алмазоподобные плёнки аморфного углерода при наличии существенных достоинств имелись недостатки, вызванные жёсткой атомной структурой алмаза [1, 3]. Решением стало внедрение в структурную сетку атомов кремния [1]. Это позволило работать над новыми методами управления их свойствами. При этом в течении долгого времени большое внимание уделялось лишь механическим и защитным свойствам получаемых кремний-углеродных плёнок, а электрические затрагивались слабо.

Было обнаружено, что параметры технологического процесса изготовления плёнок имеют существенное влияние на их физические свойства. При этом исследовании, что предшествовали данной работе, производились на материалах, полученных при стандартной частоте высокочастотного генератора напряжения, подаваемого на подложку: 1.76 МГц [1, 2]. Таким образом целью данной работы является исследование зависимости электрофизических параметров плёнок посредством варьирования частоты напряжения и самого напряжения высокочастотного генератора подаваемого на подложкодержатель, а так же давления аргона в вакуумной камере при плазмохимическом разложении молекул кремнийорганического прекурсора полифенилметилсилоксана.

В докладе обсуждаются результаты исследования влияния частоты напыления на электрофизические свойства — электропроводности и энергии активации проводимости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-29-00864).

Литература

1. **Пресняков М.Ю.** Структура и термостабильность плёнок металсодержащих кремний-углеродных нанокомпозитов : дис. К.т.н. : 01.04.10. М. 2014 — 168 с.
2. **Попов А.И., Баринов А.Д., Чуканова Т.С. и др.** — Влияние прекурсора на диэлектрические свойства алмазоподобных кремний-углеродных плёнок / Баринов А.Д. // НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, 2020, том 56, № 8, с. 1–10.
3. **Subramanian B, Thanka Rajan S, P. J. Martin,** Biomaterialization of osteoblasts on DLC coated surfaces for bone implants. American Vacuum Society. (2018)

А.С. Войцицкий, студ. ;
рук. А.С. Федулова, ст. преп. (филиал МЭИ в г. Смоленске)

УСТРОЙСТВО УДАЛЁННОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ С ЗАПОМИНАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

В настоящее время активно развивается атомная промышленность, основной задачей которой является разработка устройств, считывающих дозу радиоактивного облучения. Цель проекта: разработать устройство, отслеживающее радиационный фон с помощью недорогостоящих элементов, с возможностью сохранения показателей на съёмный накопитель (SD-карту).

В работе представлена разработка устройства удаленного контроля уровня радиации. Изучены аналоги и источники по данной теме [1]. Разработана принципиальная схема устройства. Модуль записи данных представлен на рис. 1.

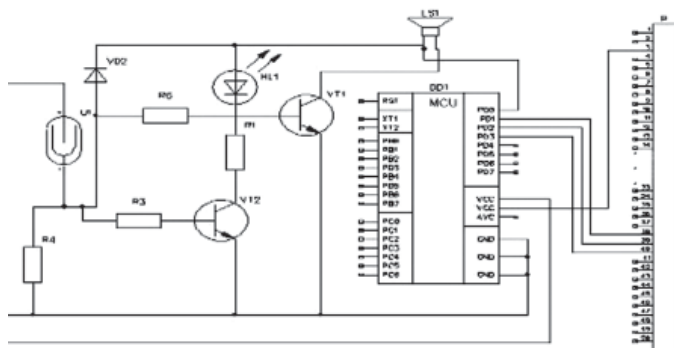


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

Основным компонентом устройства является газоразрядная трубка M4011F7, контроллер STMF407FD (MCU), LED-дисплей. Анализ осуществляется электронным модулем посредством получения сигналов с трубки и передачи на микроконтроллер, позволяющих сделать вывод о количестве полученной дозы радиации. Электронный модуль имеет вывод подключения к микроконтроллеру, который, в свою очередь, подключается к TF-модулю для записи и проектирования значений, полученных с первого устройства.

Разработана схема устройства, состоящая из оптимальной по стоимости и устойчивой к радиации электронно-компонентной базы. В разработке использовались детали наименьшего объема, для увеличения мобильности (M4011F7), также установлен модуль SD-карты и произведена прошивка контроллера для записи параметров с устройства.

Литература

1. Н.Л. Алукер. Приборы и техника эксперимента, 2022, № 4, 2022:98–105. <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=pribory&xy=2022&v=0&n=4&a=Pribory220401Aluker>

М.А. Шустинский, асп.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ISFET ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В настоящее время мониторинг электрохимических реакций применяется в различных областях, включая здравоохранение, контроль загрязнителей воздуха и безопасность пищевых продуктов. Традиционные методы мониторинга электрохимических реакций, такие как оптическая система и классическая трех-электродная система, имеют свои преимущества и ограничения. В данном контексте, ионно-чувствительный полевой транзистор представляет собой перспективное решение, обеспечивая преимущества стандартной технологии, массового производства, интеграции в сенсорные системы и устойчивости к воздействию внешних условий.

В данной работе в качестве биочувствительного элемента используется ионно-чувствительный полевой транзистор для детекции биомолекулярных реакций.

Для считывания сигнала сенсорный элемент связан со схемой обработки через аналоговый интерфейс. В данной работе представлена разработка устройства для считывания и обработки сигналов с матрицы чувствительных элементов на основе ионно-чувствительных полевых транзисторов.

Традиционно, в подобных схемах используют считывание по постоянному или реже по переменному напряжению [1]. В данном докладе предложена реализация считывания с возможностью использования как постоянного, так и переменного напряжения, что способствует широкому применению и увеличению временной стабильности. Устройство включает в себя аппаратную (блок контактирования, цифро-аналоговая схема считывания и обработки, микрофлюидная система) и программную (прошивка микроконтроллера, ПО для управления устройством на ПК) части и обладает следующими параметрами: низкий уровень искажений выходного сигнала (<1 мВ); низкий ток потребления (~ 10 мА); встроенная микрофлюидная система, что делает возможным его использование для диагностики в полевых условиях.

Литература

1. **Andrei B. Kharitonov, Julian Wasserman, Eugenio Katz, Itamar Willner.** The Use of Impedance Spectroscopy for the Characterization of Protein-Modified ISFET Devices: Application of the Method for the Analysis of Biorecognition Processes // American Chemical Society, 2001.

А.А. Кравченко, студ.;
рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ С МИКРОНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Одним из ключевых этапов изготовления микроэлектронных схем и компонентов в современном мире является фотолитография. Разработка и отладка шаблонов для литографии может представлять задачу, для решения которой необходимо прикладывать немалые затраты как временные, так и финансовые. Каждый набор фотошаблонов создается под конкретную задачу, а сам процесс фотолитографии имеет итерационный и повторяющийся характер.

Фотолитографирование с помощью лазерной установки позволяет решить часть проблем производственного характера. Установка может обладать малыми габаритами и высокой скоростью литографии. А также в виду гибкости настройки и управления, может подходить для реализации широкого спектра задач. Основными параметрами установки является мощность излучения.

Устройство, разрабатываемое в рамках данной работы, позволяет проводить экспозицию фоторезиста с областью экспонирования диаметром от 26 мкм. Устройство подходит для работы с широким диапазоном фоторезистов с разными энергиями экспозиции в виду хорошей мощностной характеристикой. Так же конфигурация позволяет адаптировать режим работы с в зависимости от различных поверхностей на которую наносится фоторезист. Устройство может работать как с положительным, так и отрицательным фоторезистом, однако приоритет отдается положительному.

Целью данной работы является создание, отладка, оптимизация и подготовка к решению конкретных задач установки лазерной фотолитографии.

Литература

1. **Феликс Павлович Пресс** Фотолитографические методы в технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, 1978.
2. **Pourjamal, S., Mäntynen, H., Jaanson, P., Rosu, D. M., Hertwig, A., Manoocheri, F., & Ikonen, E.** (2014). Characterization of thin-film thickness. *Metrologia*, 51(6), S302–S308.
3. **Park, G., Lee, J., Kang, S., Kim, M., Kang, S., & Choi, W.** (2016). Design principle of super resolution near-field structure using thermally responsive optical phase change materials for nanolithography applications. *Materials & Design*, 102, 45–55.

М.С. Бабаев, студ.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Современные технологии лазерной фотолитографии представляют собой важное направление для создания микро- и наноструктур с высоким разрешением на поверхности материалов. Оптимизация параметров процесса лазерной фотолитографии является критической задачей для достижения высокой точности и качества создаваемых структур. Исследование параметров лазерного воздействия, таких как мощность лазера, длительность импульсов и частота повторений, имеет важное значение для определения эффективности процесса. Анализ воздействия лазерного излучения на фоточувствительные слои помогает понять механизмы образования изображений и оптимизировать параметры для различных материалов.

Исследование реологических свойств фоторезистов, включая аспекты вязкости и течения, является ключевым аспектом в оптимизации процесса нанесения слоя в лазерной фотолитографии. Понимание поведения материала при его нанесении на поверхность и формировании структур играет существенную роль в обеспечении высокой точности и повторяемости создаваемых элементов.[1]

Разработка тестовых структур становится неотъемлемой частью исследовательской работы, позволяя систематически оценить воздействие изменений параметров лазерной фотолитографии, лазером с размером пучка 26 мкм, на микроструктурные и макроструктурные характеристики материалов. Это важно для выявления оптимальных условий процесса, которые обеспечивают не только высокую эффективность, но и качество создаваемых структур.[2]

Цель данной работы заключается в исследовании и анализе параметров процесса лазерной фотолитографии с целью улучшения качества создаваемых структур и повышения эффективности этого важного метода нанотехнологий.

Литература

1. Sara Pourjamal, Henrik Mantynen, Priit Jaanson, Dana Maria Rosu, Andreas Hertwig, Farshid Manoocheri, Erkki Ikonen Characterization of thin-film thickness. Metrologia 51, 2014, S302–S308. DOI 10.1088/0026-1394/51/6/S302
2. Т.И Данилова, К.И. Смирнова Технологические процессы микро-электроники. Технология ЭВС — 1. Учебное пособие. 2005.

М.Д. Острецов, асп.; рук. Д.А. Зезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА CuS ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЕГО В СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ 30 КВ

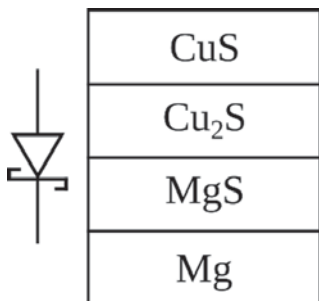


Рис. 1. Структура выпрямителя

При создании выпрямителя основной компонент схемы — это диод. Таким образом имеет смысл исследовать характеристики диода в соответствующих условиях.

При применении диода при высоких напряжениях можно увидеть две основные проблемы.

Высокое падение напряжение на диоде при прямом включении диода. Высокое падение напряжения возникает из-за высокого сопротивления базы, влияние которого наиболее заметно при высоких уровнях потенциала, прикладываемого к диоду.

Высокий обратный ток при обратном включении диода. Обратный ток критичен для диода, используемого в выпрямителях, так как диод будет находится в обратном включении при отрицательной полуволне входного синусоидального напряжения.

В работе было проведено моделирование особенностей работы выпрямителя, при котором была использована структура выпрямителя, изображенная на рисунке 1.

Литература

1. **Бородин Б.А., Кондратьев Б.В.** Мощные полупроводниковые приборы: диоды. Справочник.

*В. Краснобородько, студ.;
рук. Д.А. Зезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НЕМТ-ТРАНЗИСТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ LLD И КНИ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

НЕМТ — или же транзистор с высокой подвижностью электронов — прибор, основная особенность которого — отделение электронов от ионов примеси для повышения подвижности последних. Благодаря высокой скорости носителей заряда и малым шумам, прибор используется для устройств связи в диапазоне от микроволновых до частот около 100 ГГц. Большим недостатком прибора является зависимость характеристик от напряжений. При увеличении электрического поля в канале, носители заряда могут из канала перейти в область с большой запрещенной зоной, где их скорость становится очень малой. В данной работе будет производиться расчет НЕМТ-транзистора, в изготовлении которого были применены LLD и КНИ технологии, позволяющие увеличить область рабочих напряжений и уменьшить влияние паразитных ёмкостей, что положительно скажется на характеристиках работы прибора в СВЧ-диапазоне.

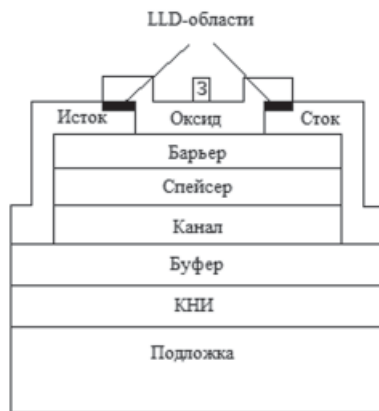


Рис. 1. Изображение рассчитываемого транзистора[1]

Литература

1. **Shuo-Huang Yuan, Feng-Yeh-Chang, Dong-Sing Wuu, Ray-Hua Horng** AlGa_N/Ga_N MOS-HEMTs with Corona-Discharge Plasma Treatment // Crystals 2017, 7(5), 146, Figure 1. (a).

Секция 11

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Biomedical Electronics

Председатель секции: д.т.н., доцент Крамм Михаил Николаевич

Секретарь секции: к.т.н. Стрелков Николай Олегович

Соорганизатором секции выступает Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».



**ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ**

*В.С. Балабанова, студ.; рук. Д.О. Варламов, ст. преп.
(Московский Политех, Москва)*

ИЗМЕРИТЕЛЬ ИМПЕДАНСА

Измеритель импеданса — это устройство для измерения полного сопротивления в электрических схемах, приборах и сложных полупроводниковых структурах.

Наиболее актуальное применение данное устройство находит в области анализа электроэнцефалограмм (ЭЭГ), а именно измерение импеданса (качества прилегания) электродов к кожным покровам головы.

Актуальность данной работы обосновано сложностью измерения сопротивления большого значения (10–100 кОм), так как, из-за неплотного прилегания измеряемого электрода, сопротивление может варьироваться в довольно большом диапазоне. Также, измерение высокого сопротивления осложняется появлением высокочастотных помех в полученной диаграмме импеданса, что требует технического (программно-аппаратного) решения.

Области применения данного устройства не ограничиваются только настройкой параметров электродов при ЭЭГ. Устройство может использоваться для определения качества полупроводниковых компонентов, общем анализе схем и определении нежелательных токов утечки, заявленных параметров электронных компонентов.

Ключевые характеристики устройства представляют собой: измерение в большом диапазоне сопротивления от 100 Ом до 10 МОм с точностью до 0,5%, высокое разрешение измерений (27 бит) 0,075 Гц в широком диапазоне температур от -40°C до +125°C. Данные характеристики позволяют обеспечить стабильную работу устройства и получение качественных данных при измерении изменяющегося импеданса и изменяющихся условий окружающей среды.

Литература

1. **Образцов С., Троицкий Ю.** Прецизионный Конвертор Импеданса AD5933 // Современная электроника. — 2009. — Вып. 9. — С. 12–15.
2. **Wandowski T., Malinowski P., Ostachowicz W.** Calibration Problem of AD5933 Device for Electromechanical Impedance Measurements // EWSHM — 7th Eur. Work. Struct. Heal. Monit. 2014.
3. Analog Devices. AD5933: 1 MSPS, 12-Bit Impedance Converter, Network Analyzer [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/data-sheets/AD5933.pdf> (дата доступа: 08.02.2015).

П.М. Жучкова, студ.; рук. Я.А. Куприянова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА КОЭФФИЦИЕНТА РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ ПО ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ НИЗКОАМПЛИТУДНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ

Ишемическая болезнь сердца — широко распространенное заболевание, увеличение точности и полноты диагностики которого представляется возможным с помощью разработки и внедрения алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии (ОЗ ЭКГ), в том числе и по высокочастотным низкоамплитудным (ВЧ НА) составляющим ЭКГ-сигналов [1].

Алгебраический алгоритм решения ОЗ ЭКГ позволяет по ЭКГ-сигналам, измеренным на поверхности грудной клетки, реконструировать распределения эквивалентных источников в виде простого γ и двойного D слоев на поверхности сферического квазиэпикарда. Важным параметром алгебраического алгоритма решения ОЗ ЭКГ является коэффициент регуляризации α . В настоящей работе установлены регрессионные зависимости α от отношения сигнал/шум q в ВЧ НА составляющих ЭКГ-сигналов вида:

$$\lg \alpha = p_1 \lg q + p_2,$$

где p_1, p_2 — параметры регрессионных зависимостей. Параметры p_1, p_2 определены для различных интервалов кардиоцикла, а также для всего кардиоцикла, и представлены в таблице.

Параметры регрессионных зависимостей

Интервалы:		P	PQ	QRS	ST	T	PQRST
γ	p_1	-1.069	-1.254	-0.858	-1.548	-1.672	-1.409
	p_2	-7.816	-7.662	-8.928	-7.312	-7.144	-7.972
D	p_1	-1.295	-1.401	-1.014	-1.649	-1.978	-1.409
	p_2	-3.876	-3.803	-4.654	-3.412	-3.176	-4.000

Найденные зависимости позволили автоматизировать выбор коэффициента регуляризации при решении ОЗ ЭКГ алгебраическим алгоритмом по ВЧ НА составляющим ЭКГ-сигналов.

Литература

1. Куприянова Я.А. Жихарева Г.В., Мишенина Т.Б., Андреев И.В. Выбор коэффициента регуляризации при решении обратной задачи электрокардиографии по высокочастотным низкоамплитудным составляющим ЭКГ-сигналов // Матер. Междунар. Научного форума. Матер. VI Междунар. Конференции «Технические средства систем управления и связи = International scientific forum on control and engineering», 2022: сборник трудов конференции. С. 42–44.

А.Ю. Акопова, Ю.В. Булгакова, студ.;
рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)

ФАНТОМ ТРЕХМЕСЯЧНОГО ПЛОДА В УТРОБЕ МАТЕРИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ультразвуковое исследование является одним из основных методов для выявления особенностей на ранних стадиях развития плода. Более 95% аномалий нервной системы можно выявить на 12–14 неделе беременности. Поэтому актуально создание фантома 3-месячного плода, который позволит специалистам научиться работать с современными инструментами [1, 2] и точнее выявлять патологии, поможет повысить качество антенатальной диагностики и шансы здорового развития ребенка [3].

Разработка фантома 3-месячного плода требует учета многих физических и биологических параметров. Этот фантом должен имитировать структуру и свойства тканей, соответствующие 3-месячному плоду, чтобы при исследовании аппаратом УЗИ получить достоверные результаты [4].

Для создания фантома использовались тканеимитирующие материалы, которые характеризуются близостью акустических параметров к человеческим тканям [5, 6]. Для симуляции костей использовался PLA пластик, для создания мышечных тканей — силиконоподобные материалы. Важно также было учесть геометрические параметры плода, например, его размеры, форму и расположение органов. Для этого использовалась специальная программа трехмерного моделирования Meshmixer.

Создание фантома трехмесячного плода имеет большое значение для специалистов ультразвуковой диагностики, работающих в области акушерства и гинекологии.

Литература

1. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: Visualization of volumetric data. *Biomedical Engineering*. 2020. V. 54(2). P. 149–154.
2. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: Current state, emerging trends and technologies. *Biomedical Engineering*. 2018. V. 52(3). P. 199–203.
3. **Rowan A, Hayes-Ryan D, Hogan J, Cooley S, Geary M.** Early pregnancy teaching and training amongst obstetric trainees in a tertiary maternity hospital. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2022 Mar;270:30–34.
4. **Arechvo A., Lingman G., Thurn L., Jansson T., Jokubkiene L.** (2021). Fusion imaging in brain structure measurements on a fetus phantom, combining real-time ultrasound with magnetic resonance imaging. *Australasian Journal of Ultrasound in Medicine*.
5. **Leonov D et al.** (2023) Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *IJCARS*. <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
6. **Leonov D, Kodenko M, Leichenco D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol urg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

*Ю.В. Булгакова, студ.; рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ ПУНКЦИИ СОСУДОВ И БЛОКАДЫ НЕРВОВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фантом — это модель органа и тканей человека, который в процессе подготовки медицинских кадров позволяет обучающимся развить ряд навыков. Фантомы сосудов и нервов позволяют развивать навыки работы в доплеровских режимах [1, 2] и выполнять манипуляции под ультразвуковым контролем. Подобное оборудование применяется в 2/3 симуляционных центров РФ, а в каждом третьем центре обучение катетеризации происходит с использованием особого фантом, сосуды которого заполнены крове-имитирующей жидкостью. В данной работе рассматривается создание такого фантома, представляющего собой модель части человеческого тела с сосудами и нервами, пригодную для использования в процессе обучения.

В созданном фантоме размещены модели трёх кровеносных сосудов, заполненных крове-имитирующей жидкостью, и трёх нервов конечностей человека, один из которых имеет бифуркацию. Фантом создан из долговечного силиконоподобного материала, соответствующего акустическим свойствам ткани человека. При создании использовались литьевая технология и технология трехмерного моделирования [3, 4]. На сонограмме модели нервов выглядят гиперэхогенными, а модели сосудов –анэхогенными. Для демонстрации адекватности модели приводятся сонограммы участков фантома. Фантом проницаем для иглы, при этом она хорошо определяется на фоне тканей.

Разработанный фантом с сосудами и нервами может быть использован в качестве тренировочного симулятора для отработки навыков сосудистого доступа и выполнения анестезии под ультразвуковым контролем. Он будет полезен врачам ультразвуковой диагностики, курсам повышения квалификации и дистрибьютерам для демонстрации ультразвукового оборудования.

Литература

1. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: Current state, emerging trends and technologies. *Biomedical Engineering*. 2018. V. 52(3). PP. 199–203.
2. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: Visualization of volumetric data. *Biomedical Engineering*. 2020. V. 54 (2). PP. 149–154.
3. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Насибуллина А.А.** Фантом для ультразвуковых исследований. Патент 211266 U1, 27.05.2022.
4. **Булгакова Ю.В., Пуликова Ю.С.** Фантом для обучения навыкам пункции сосудов под ультразвуковым контролем / *Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва, 2023. С. 181.*

*П.В. Бутнякова, студ.;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ДОМУ

Ключевые слова: стабилметрия, нарушения опорно-двигательного аппарата, тренды, телемедицина, обмен данными.

В настоящее время в медицинской практике все чаще используется индивидуальный подход к пациентам, диагностике их заболеваний и терапии. В работе предложено использование стабилографического тренажерного комплекса, включающего в себя умную платформу с ПО и возможностью обмена данными с профильными специалистами и другими пациентами, для персонализации диагностики возникновения и развития патологических проблем с опорно-двигательным аппаратом, например, таких как плоскостопие и искривление позвоночника.

Персонализированная методика диагностики позволяет на основании стабилметрических данных пациентов, полученных ими самостоятельно на дому рассчитывать отклонения от индивидуальных норм важных параметров и выделять их тренды, что позволит точнее сформировать персонализированную схему мониторинга и лечения с опорой на особенности конкретного пациента. Применение данной портативной системы не только позволит людям из групп риска вовремя обратить внимание на состояние своего опорно-двигательного аппарата, но и поможет врачам посредством телемедицины сэкономить время при общении с больными и обеспечит удобство обмена данными с коллегами, что приведет к увеличению клинической базы и, как следствие, к повышению чувствительности и специфичности результатов диагностики.

В перспективе данный комплекс планируется использовать также для терапии патологических состояний опорно-двигательного аппарата, генерируя на основе индивидуальных показателей методики тренировок для активной реабилитации методами биологической обратной связи и восстановления функции равновесия, опоры, движения и координации. Предполагается, что использование комплекса повысит чувствительность стоп и позволит отрабатывать тонкое управление мышцами баланса.

Литература

1. **Кубряк, О.В.** Стабилметрия за 2 минуты. Интерактивное методическое пособие / О.В. Кубряк, А.И. Мезенчук // — М.: Мера-ТСП, 2022 — 44 с.
2. Московский консенсус по применению стабилметрии и биоуправления по опорной реакции в практическом здравоохранении и исследованиях / НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина. М., 2017; 10 с.

*В.В. Гребенникова, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ФАНТОМОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Сегодня ультразвуковая диагностика (УЗД) является наиболее простым, дешевым, неинвазивным и информативным методом выявления опухолевых образований щитовидной железы (ЩЖ). Считается, что узлы (доброкачественные или злокачественные опухоли) можно найти у 50% пациентов, которым проводили УЗД щитовидной железы [1]. За последние 25 лет заболеваемость раком щитовидной железы выросла более чем в 3 раза, тем не менее, смертность от этого заболевания остается стабильной, примерно 0,5 случаев на 100 000 человек [2], что связано с развитием технологий УЗД. Точность диагноза часто напрямую зависит от квалификации врачей, проводящих обследование пациента, именно поэтому следует уделить особое внимание подготовке высококвалифицированных специалистов, для которой необходимо использование фантомов.

Данная работа посвящена разработке, исследованию и сравнению антропоморфных фантомов щитовидной железы, выполненных в двух различных техниках: отливки из силиконоподобных материалов [3–5] и засветки смолы с помощью 3D-принтера с LCD-технологией печати. Формы для заливки первого фантома также создавались с помощью 3D-печати. В качестве внутренних элементов в обе модели вложены сосуды шеи, кости, хрящи, трахея и гортань, а также щитовидная железа с новообразованиями. Параметры тканеимитирующих материалов фантомов приближены к акустическим характеристикам реальных биотканей человека. Рассмотренные фантомы применимы для отработки навыков ультразвуковых исследований и проведения манипуляций под ультразвуковым контролем.

Литература

1. **Belfiore A, Giuffrida D, La Rosa GL, Ippolito O, Russo G, Fiumara A, Vigneri R, Filetti S.** High frequency of cancer in cold thyroid nodules occurring at young age. *Acta Endocrinol (Copenh)*. 1989 Aug;121(2):197–202. doi: 10.1530/acta.0.1210197.
2. **Takano T.** Natural history of thyroid cancer [Review]. *Endocr J*. 2017 Mar 31;64(3): 237–244. doi: 10.1507/endocrj.EJ17-0026.
3. **Leonov D et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *IJCARS* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
4. **Леонов Д.В., Лейченко Д.В., Насибуллина А.А., Булгакова Ю.В., Омелянская О.В., Васильев Ю.А.** Фантом щитовидной железы для ультразвуковых исследований // Патент на полезную модель 220592 У1, 22.09.2023.
5. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

А.Ю. Бодин, асп.; рук. М.Н. Крамм, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА СВЯЗИ ДЛЯ СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ

Основная задача работы — регистрация электрокардиосигналов в многоэлектродной электрокардиологической системе с последующей компьютерной обработкой с целью получения карт электрического потенциала на поверхности эпикарда для профилактики сердечно сосудистых заболеваний [1]. Авторы решают задачу разработки проводного интерфейса связи с помощью USB между персональным компьютером (ПК) и блоком регистрации множественных отведений электрокардиосигналов (ЭКС).

Необходимая скорость передачи данных для 64 канального блока регистрации с разрешением 24 бита на канал и с частотой дискретизации 1кГц, с запасом на расширение должна составлять от 1 Мбайт/с. Использование преобразователей UART-USB не позволяет достигать требуемой скорости передачи, поэтому авторы выбрали интерфейс FIFO-USB от компании FTDI на базе микросхемы FTDI245R.

В работе рассматривается структура и особенности построения программы для ПК, работающей с потоковым интерфейсом (с последовательностью байтов) [2]. Поток образован блоком регистрации, который выполняет непрерывную оцифровку ЭКС, и преобразователем FIFO-USB, отправляющим данные на ПК. Рассмотрены вопросы синхронизации потоков, выбора примитивов синхронизации и оптимальных структур данных для хранения информации, расшифровки и упаковки данных. Приведены примеры программного кода, который написан на языке C# версии .NET Framework 4.8.1.

Таким образом, авторами был разработан интерфейс связи, позволяющий непрерывно передавать данные между двумя устройствами по интерфейсу FIFO-USB от компании FTDI, со скоростью передачи 1 Мбайт/с. Разработанный многопоточный интерфейс связи позволяет на ПК без потери информации производить препроцессинг полученного электрокардиографического сигнала с целью цифровой фильтрации, мониторинга и контроля записи.

Литература

1. **Крамм М.Н.** Эквивалентный электрический генератор сердца для неинвазивной электрокардиодиагностики // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2020. № 2 (32) С. 65–71. DOI: 10.21685/2307-5538-2020-2-8
2. Microsoft. NET8: [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.io.stream?view=net-8.0> (Дата обращения 01.10.2023).

*О.В. Власова, К.Р. Пузова, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ЛИЦА ДЛЯ КОСМЕТИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯЦИЙ ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КОНТРОЛЕМ

В косметологии инъекции чаще всего используются для разглаживания мимических морщин, для поднятия скул и коррекции подбородка, причём ежегодно проводится более 6 миллионов подобных процедур [1]. Процедура считается безопасной, поскольку серьезные негативные последствия встречаются только в 1 случае из 6410 процедур [2]. Если во время проведения процедуры будет задета лицевая артерия или ее ветви, то это может вызвать ишемию в тканях, которые питает артерия. Это может привести к образованию язв, некрозу и слепоте в 61% случаев, полное восстановление после которой достигается лишь в 28% случаев [3].

Данная работа посвящена созданию фантома лица человека для проведения инъекций под ультразвуковым контролем. Фантом состоит из имитации костей черепа, мышечной ткани лица и ткани кожи, околоушных слюнных желез и лимфоузлов. Также была смоделирована лицевая артерия и ее основные ответвления. Способ создания данного фантома является развитием опубликованной ранее технологии [4–6]. Данная работа может быть интересна студентам медикам и косметологам, интересующимся повышением квалификации в области выполнения инъекций под ультразвуковым контролем с применением фантомов [7].

Литература

1. **Lores, M., Celeiro, M., Rubio, L. et al.** Extreme cosmetics and borderline products: an analytical-based survey of European regulation compliance. *Anal Bioanal Chem* 410, 7085–7102 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1312-3>
2. **Alam M, Kakar R, Dover JS, et al.** Rates of Vascular Occlusion Associated With Using Needles vs Cannulas for Filler Injection. *JAMA Dermatol.* 2021;157(2):174–180. doi:10.1001/jamadermatol.2020.5102
3. **Sito G, Manzoni V, Sommariva R.** Vascular Complications after Facial Filler Injection: A Literature Review and Meta-analysis. *J Clin Aesthet Dermatol.* 2019 Jun;12(6):E65–E72. Epub 2019 Jun 1. PMID: 31360292; PMCID: PMC6624005.
4. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N.** Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>
5. **Насибуллина А.А. и др.** Обучающие фантомы для ультразвуковой диагностики// Виртуальные технологии в медицине. 2022. № 3 (33). С. 252–254.
6. **Leonov D et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *IJCARS* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
7. **Alexander LF et al.** Ultrasound Simulation Training for Radiology Residents-Curriculum Design and Implementation. *J Ultrasound Med.* 2023 Apr;42(4):777–790. <https://doi.org/10.1002/jum.16098>.

*С.М. Шагиева, Ю.В. Булгакова, студенты;
рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

От воспаления легких ежегодно в мире умирает более 2 млн. человек [1]. При этом одним из наиболее простых и эффективных способов диагностики патологий органов дыхательной системы является ультразвуковое исследование. Поскольку точность диагноза зависит от квалификации и опыта работы врачей, то необходимо обратить внимание на обучение высококвалифицированных специалистов, как на клинических базах с участием пациентов, так и на специализированных фантомах.

Данная работа посвящена разработке и исследованию фантома части грудной клетки. Фантом выполнен в виде модели задней поверхности грудной клетки со съёмным блоком, представляющим собой модель лёгкого, выполненную из тканемимитирующих материалов [2, 3]. Лёгочные блоки имитируют на УЗ-изображении следующие ткани: грудная стенка, рёбра и межрёберные промежутки, легочная ткань, плевра. Движение плевры имитируется специально разработанным воздушным насосом, запрограммированным через Arduino. Форма фантома и сменные блоки были созданы с помощью 3D принтера.

Разработанный фантом предназначен для обучения с использованием аппаратов ультразвуковой диагностики с конвексным датчиком. С помощью него можно проводить демонстрацию основ ультразвукового исследования, идентификацию А-линий и В-линий при УЗ-сканировании лёгких [4, 5], распознавание УЗ-признаков пневмонии и плеврального выпота.

Литература

1. **Zhou J., Zhang X.** Lung Ultrasound Surface Wave Elastography for assessing water content in a Sponge Phantom Model. Proc. Mtgs. Acoust 46, 020001 2022
2. **Leonov D et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. IJCARS (2023). <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
3. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. Int J Comput Assist Radiol Surg 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>
4. **Mento F, Libertario D.** On the influence of imaging parameters on lung ultrasound B-line artifacts, in vitro study. J Acoust Soc Am 148, 975–983 2020
5. **Ветшева Н.Н., Решетников Р.В., Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Мокиенко О.А.** Диагностическая ценность ультразвукового исследования лёгких для выявления covid-19: систематический обзор и метаанализ // Digital Diagnostics. 2020. Т. 1. № 1. С. 13–26.

*Г.А. Скаржевская, Ю.В. Булгакова, студенты;
рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., ст. преп.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Доля опухолей малого таза в общей структуре онкологической заболеваемости составляет около 25%. Среди мужчин одно из первых мест занимает рак предстательной железы (9,7%), среди женщин — опухоли половых органов (14–20%) [1]. Ежегодно в мире данное заболевание регистрируется у 330 тысяч человек. Чтобы минимизировать риск летального исхода, необходимо определить рак на ранней стадии. Для этого нужно достигнуть высокого уровня квалификации врачей, чему способствует обучение на тренажерах, таких как фантомы [2–6].

Данная работа посвящена разработке и исследованию фантома органов малого таза для ультразвуковой диагностики. Фантом содержит модели таких органов как матка, яичники, мочевого пузыря, тазобедренные кости, сосуды, а также опухоли. При помощи этого тренажера студенты-медики могут развивать такие навыки как: обращение с трансвагинальными и абдоминальными датчиками и манипуляции с ними; интерпретация сонограмм; визуализация и локализация анатомий и патологических образований [5]. Для воспроизведения опухолей было изучено большое количество сонограмм, при этом оценивалась форма, эхогенность, эластичность опухолей. Параметры здорового яичника: длина 3–4 см, ширина 2–2,5 см, толщина 1–1,5 см. При поликистозе размер яичников увеличивается в 1,5–2 раза. Кисты анэхогенны, что позволяет четко определить их на ультразвуковом изображении.

Литература

1. **Скворцов В.В., Затонский И.Е., Левитан Б.Н., Скворцова Е.М., Скворцова А.В.** Воспалительные заболевания органов малого таза. Медицинская сестра. 2019; 21(1):6–9. <https://doi.org/10.29296/25879979-2019-01-02>
2. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N.** Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>
3. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Насибуллина А.А.** Фантом для ультразвуковых исследований // Патент RU 211266 U1 от 2021.09.06.
4. **Leonov D et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *IJCARS* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
5. **Alexander LF et al.** Ultrasound Simulation Training for Radiology Residents-Curriculum Design and Implementation. *J Ultrasound Med.* 2023 Apr;42(4):777–790.
6. **Насибуллина А.А., Лейченко Д.В., Суслина Л.А., Леонов Д.В.** Обучающие фантомы для ультразвуковой диагностики // Виртуальные технологии в медицине. 2022. № 3 (33). С. 252–254.

А.О. Жирнова, студ.;
рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БАНКА ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИИ ГАУССА-ЭРМИТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШУМОВ ДЫХАНИЯ

В последнее время доля заболеваний органов дыхания увеличивается, так с 2019 по 2020 год в структуре первичной заболеваемости взрослого населения РФ она выросла с 30,0 до 36,9%. В связи с этим, выявления нарушений работы органов дыхания (ОД) на ранней стадии является важной задачей, которую сложно решить врачу из-за недостаточной остроты слуха.

Для диагностики заболеваний ОД используются различные методы. Аускультация является самым безопасным для пациента методом, она не имеет противопоказаний и является первичным этапом диагностики. В результате аускультации мы имеем шумоподобный сигнал, анализ которого в большинстве случаев осуществляется с помощью спектрального метода, для более детального анализа применяют вейвлет преобразование [1].

Часто требуется выявить наличие локальных особенностей и периоды их следования, что иногда невыполнимо с помощью классического аппарата из-за нестационарности дыхания. В докладе рассматриваются принципы построения банка фильтров на основе функций Гаусса-Эрмита (ФГЭ). Благодаря своим отличительным характеристикам, ФГЭ позволяют сконструировать фильтры произвольной формы (рис. 1), что повышает эффективность диагностики респираторных заболеваний. Также в докладе представлены результаты обработки реальных звуковых сигналов.

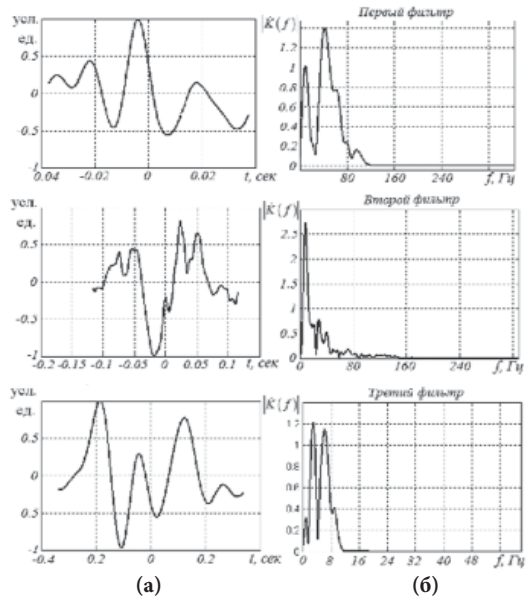


Рис. 1. Банк фильтров: (а) импульсная характеристика, (б) АЧХ фильтров

Литература

1. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков легких на основе многоуровневого вейвлет-анализа. — Научная визуализация, 2022, т. 14, № 2, с. 18–26.

С.А. Чуйкин, Ю.П. Анучин,
В.А. Безруков, К.К. Котельников, студенты;
рук. А.А. Чугунов (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ

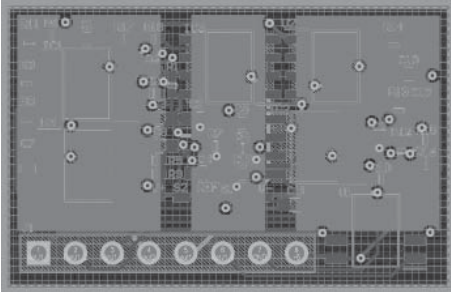


Рис. 1. Разработанный датчик электромиографии

Отрасль протезирования и технических средств реабилитации (ТСР) развивается как в России, так и за ее пределами. После начала специальной военной операции средний возраст человека с повреждениями опорно-двигательного аппарата снизился до 36,2 лет. В настоящее время очень большое количество людей трудоспособного возраста вынуждены мириться с современными системами управления бионическими протезами. Эти протезы управляются 2 датчиками электромиографии. Мировой стандарт предусматривает всего 2 датчика для управления протезом, что крайне недостаточно и неспособно вернуть жизнь человека на прежний уровень (до потери конечности).

В данной работе рассматривается реализация аппаратной части датчика электромиографии с выходным цифровым сигналом.

Данный датчик обладает рядом преимуществ перед аналогичными датчиками, которые сейчас используются в протезах верхних конечностей. Он немного больше, чем мировой стандарт — датчики компании Ottobock, что позволяет ему получать больше информации с кожи человека, так как его считывающие пластины больше аналогичных в 3 раза. В отличие от датчиков Ottobock он выполнен на единой плате, что уменьшает количество необходимого пространства внутри культиприемной гильзы. Также данный датчик благодаря АЦП способен передавать сигнал на большее расстояние без потерь, а также сделать постобработку сигнала более удобной, понижая требования к микроконтроллеру. В дальнейшем планируется установка нескольких таких датчиков в единый корпус, что позволит вывести систему управления протезом за его пределы. Таким образом человек с таким браслетом будет более комфортно управлять ЭВМ и прочей цифровой техникой.

Литература

1. Лукьянов Михаил Владимирович. «Клиническая электромиография. История и перспективы» Неврологический журнал, vol. 18, no. 2, 2013, pp. 59–64.

*В.О. Дони, В.В. Замашкин, аспиранты;
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

ЭТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧАСТИЕМ ЧЕЛОВЕКА В КАЧЕСТВЕ СУБЪЕКТА В БИМЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Сегодня невозможно провести исследование с участием людей в качестве субъекта без оформления информированного согласия и других современных этических норм. Так как исследование с участием людей касаются не только медицины, но и других областей, связанных с техникой — например, изучение влияния экранов на зрение пользователя, влияние электромагнитного излучения и т.д., то для таких исследований согласно законодательству РФ и международным нормам необходимо соблюдать соответствующие требования.

При НИУ «МЭИ» создан Локальный этический комитет (ЛЭК), который призван обеспечить соблюдение современных этических требований для коллективов университета, в исследованиях которых присутствует человек. Работы ЛЭК регламентируются внутренним Положением, утвержденным 19.09.2022. Для удобства исследователей сформирован электронный сервис для подачи и рассмотрения заявок, расположенный в интернет-представительстве НИУ «МЭИ» по адресу lek.mpei.ru (рис. 1). В качестве методического, справочного и консультационного материала по теме рекомендован дистанционный учебный курс «Этическое обеспечение исследований с участием людей для разработчиков, приборов и технологий», подготовленный коллективом, включающем начальника юридического управления НИУ «МЭИ», одного из авторов данного тезиса, и также внешних экспертов — профессора философии науки и техники, и специалиста по искусственному интеллекту.

Таким образом, в НИУ «МЭИ» создан необходимый элемент современной исследовательской организационной структуры, ориентированный на поддержку исследований взаимодействия человека с приборами и технологиями, разрабатываемыми в нашем университете.



Рис. 1. Скриншот ресурса ЛЭК на портале НИУ «МЭИ»

*В.П. Кириллова, Р.С. Мясоедов, студенты;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

Ключевые слова: мобильный мониторинг, критические состояния, пороговые значения, нарушения опорно-двигательного аппарата.

В настоящее время крайне актуальной является разработка мобильных телеметрических комплексов мониторинга состояния здоровья лиц с инвалидизацией. Предложена система параметров, позволяющих производить обнаружение критических состояний для дистанционного контроля важных показателей здоровья и своевременного оказания помощи.

Разработана структура комплекса средств и сформированы критерии оценки для мобильного мониторинга критических состояний, для реализации которой были выбраны методы исследований показателей здоровья, а именно ЭКГ, ЭМГ и ЭКГ. Для снятия сигналов были выбраны портативные устройства съема биосигналов, отвечающие требованиям удобства эксплуатации, технологичности изготовления и наличия беспроводной передачи данных. Сформулированы критерии параметров для оценки критических состояний. Было проведено моделирование работы устройства обнаружения критических параметров разработанного комплекса в пакете MATLAB.

Областью применения комплекса мобильного мониторинга является дистанционное наблюдение за состоянием здоровья пациентов в послеоперационный период, в процессе интенсивной терапии, а также для лиц в стрессовых ситуациях. Особенно важен мониторинг состояния здоровья для людей с нарушениями опорно-двигательной системы.

В перспективе разработанный комплекс средств мобильного мониторинга на основе анализа динамики изменения параметров сможет прогнозировать возникновение критических состояний.

Литература

1. **Нгуен Чонг Туен.** Система и алгоритм интеллектуальной обработки и анализа биомедицинских сигналов в системах удаленного мониторинга состояния здоровья человека / Нгуен Чонг Туен, Чан Чонг Хыу, Нгуен Мау Тхач, З. М. Юлдашев // Изв. вузов России. Радиотехника. 2018. № 5. С. 71–80.
2. **Литовкин Р.В.** Измерительные системы мониторинга: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16 / Литовкин Р.В. — Волгоград, 2004. — 159 с.
3. **Фролов, С.В.** Методы и приборы функциональной диагностики: учебное пособие / С.В. Фролов, В.М. Строев, А.В., Горбунов, В.А. Трофимов. — Тамбов 100 экз. — ISBN 978-5-8265-0762-9.

*А.Р. Ахметзянова, студ.;
рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТЕЙ КРУГОВЫХ СЕГМЕНТОВ В ТЕРМОГРАММЕ ДЛЯ РТМ-ДИАГНОСТИКИ НОВООБРАЗОВАНИЙ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Рак молочной железы является одним из самых распространенных онкологических заболеваний в мире. В настоящее время для раннего диагностирования рака молочной железы все большее распространение получает РТМ-диагностика. По сравнению с маммографией данный вид диагностики имеет более высокую контрастность, что повышает эффективность определения рака в доклинической фазе. Снимки, полученные при помощи РТМ-диагностики [1], представляют собой температурную карту, где расположены перепады (градиент) температур (рис. 1). Исследования показали, что температура злокачественного новообразования определяется темпом ее роста. Представляющие наибольшую опасность быстро растущие опухоли имеют большое тепловыделение, что можно наблюдать на поле температур, полученном при микроволновой термометрии. Анализ подобных термоизображений является актуальной задачей для раннего диагностирования новообразований.

В докладе предлагается алгоритм обработки термоизображений на основе обобщенного спектрально-аналитического метода [2]. В качестве базисных функций используются функции Гаусса – Эрмита. Работоспособность алгоритма проверяется на реальных термоизображениях, представляющих собой снимки молочной железы с различными диаметрами опухоли, а также с выраженной неравномерностью в зависимости от стадий осложнения.



Рис. 1. Температурное поле левой МЖ

Литература

1. **Веснин С.Г., Каплан М.А., Авакян Р.С.** Современная микроволновая радиотермометрия молочных желез, Опухоли женской репродуктивной системы. 2008(3), 28–33.
2. **Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н., Дедус А.Ф.** Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. Задачи анализа изображений и распознавания образов. М.: Машиностроение, 1999. 357 с.

М.В. Сучкова, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ В БАЗИСЕ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ

Доклад посвящен реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) усилителя биопотенциалов. Усилители биопотенциалов (УБП) обеспечивают усиление слабых сигналов (при снятии ЭКГ, ЭМГ, ЭЭГ и т.д.) на фоне сильных помех, возникающих в результате наводок сети на теле пациента [1]. Они обусловлены наличием емкостной связи между пациентом сетью и заземленным проводом. Для усиления электрокардиосигнала, как правило, применяют дифференциальный усилитель.

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с реализацией УБП для обработки электрокардиосигнала с частотным диапазоном 0,05–130 Гц и уровнем сигнала 0,05–5 мВ. Предлагается реализация такого усилителя в базисе на переключаемых МОП-конденсаторах. Схемотехника устройств на переключаемых МОП-конденсаторах привлекает разработчиков радиоэлектронной аппаратуры рядом своих достоинств, из которых основными являются: возможность реализации в интегральном исполнении практически без использования навесных компонентов, высокая стабильность параметров при изменении температуры и длительном времени работы, возможность построения прецизионных схем обработки сигналов, облегченное сопряжение с устройствами цифровой обработки сигналов [2]. Отметим, что использование программируемых аналоговых интегральных схем — ПАИС, позволяет решать проблему создания разнообразных аналого-дискретных устройств, кардинально снизив стоимость и габариты [3].

В докладе рассматриваются особенности реализации УБП с учетом специфики SC-схемотехники. Предложен пример SC-реализации такого усилителя на ПАИС компании Anadigm в дифференциальном исполнении. Приводятся результаты физической реализации усилителя электрокардиосигнала на ПАИС в виде интегральной микросхемы частного применения.

Литература

1. **Корневский Н.А.** Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы : учеб. пособие для студ. вузов // Корневский Н.А., Попечителей Е.П., Серегин С.П.; Мин-во образования и науки РФ, Курский гос. техн. ун-т, Санкт-Петербург. гос. электротехн. ун-т. — 2-е изд. — Курск : ИПП Курск, 2009. — 986 с.
2. **Богатырев Е.А.** Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 264 с.
3. **Торопчин Д.С.** Основы теории и схемотехники SC-устройств на базе программируемых интегральных схем: учебное пособие для вузов // Торопчин Д.С., Богатырев Е.А., Филатов В.А. — Москва: изд. МЭИ, 2018. — 76 с.

А.А. Сигитов, студ.; рук. М.Н. Крамм, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БЛОКА РЕГИСТРАЦИИ РИТМОВ СЕРДЦА И ДЫХАНИЯ

Разработка макета для регистрации ритмов сердца и дыхания имеет большое значение для медицины, потому что позволяет решить ряд задач, связанных с диагностикой и лечением нарушений сердечно-сосудистой и дыхательной систем [1]. Также данный макет предназначен для исследований взаимокорреляционной связи между ритмами пульса и дыхания, что может иметь практическое применение в различных областях, включая медицину, спортивную медицину и психологию.

Метод регистрации ритма основан на основе работы пульсоксиметра (режим на отражение), в качестве датчика использовался MAX30102. Для измерения частоты дыхания используется датчик температуры LM35, который на базе гарнитуры для микрофона располагается у носового канала. Выдыхаемый воздух теплее, чем воздух окружающей среды при вдохе. Измеряя разность температур, можно регистрировать ритм дыхания. При реализации макета в качестве микроконтроллера был выбран AVR AT 328.

Данные передаются через USB на ПК, где в дальнейшем обрабатываются в математических пакетах. Полученные сигналы фильтруются и далее находятся максимумы и минимумы для формирования интервальных последовательностей. Результаты работы макета (кардиоритмограмма и пневморитмограмма) представлены на рисунке 1.

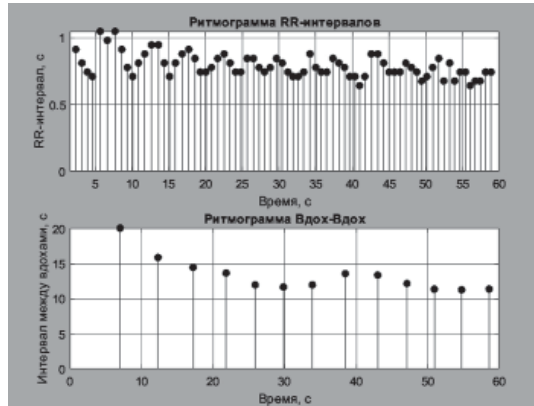


Рис. 1. Результаты работы комплекса измерительного блока с ПК

Литература

1. Корневский Н.А., Юлдашев З.М. Приборы, аппараты и комплексы медицинского назначения Средства регистрации неэлектрических характеристик биообъектов. — Старый Оскол, Изд-во ТНТ, 2022.

Е.Е. Лиманская, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

SC-РЕАЛИЗАЦИЯ УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНОГО ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ

Доклад посвящен реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) ультранизкочастотного фильтра верхних частот (ФВЧ) высокого порядка для медицинского применения. Ультранизкочастотный фильтр верхних частот находит огромное применение в медицинском оборудовании: от ультразвуковых сканеров до электрохирургического оборудования [1]. Например, в ЭКГ-приборах ультранизкочастотный ФВЧ используется для фильтрации электромагнитных помех и низкочастотных сигналов электромиографии, получаемых из-за мускульных активностей, чтобы получить более точную информацию о сердечной активности пациента [2]. В электростимуляторах ультранизкочастотный ФВЧ необходим для фильтрации нежелательных сигналов переменного тока, возникающих в процессе электростимуляции. Это позволяет минимизировать риск электрических помех и повреждений тканей пациента.

В докладе предлагается SC-реализация ультранизкочастотного ФВЧ с использованием программируемой аналоговой интегральной схемы (ПАИС). Следует отметить, что реализация устройств в SC-исполнении на ПАИС обладает рядом достоинств [3]: полностью дифференциальная архитектура, возможность получения прецизионных устройств обработки сигналов, простота сопряжения с аналоговыми и цифровыми устройствами, высокая температурная стабильность и т.д.

В докладе обсуждаются особенности такой реализации с учетом специфики SC-схемотехники. Рассматривается конкретный пример SC-реализации ультранизкочастотного ФВЧ восьмого порядка на ПАИС компании Anadigm в полностью дифференциальном исполнении. Приводятся результаты физической реализации на ПАИС в виде интегральной микросхемы частного применения.

Литература

1. **Корневский Н.А.** Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы : учеб. пособие для студ. вузов // Корневский Н.А., Попечителей Е.П., Серегин С.П.; Мин-во образования и науки РФ, Курский гос. техн. ун-т, Санкт-Петербург. гос. электротехн. ун-т. — 2-е изд. — Курск : ИПП Курск, 2009. — 986 с.
2. **Крамм М.Н.** Методы и приборы биомедицинских исследований : методическое пособие // Московский энерг. ин-т (техн. ун-т). — Москва : Изд. дом МЭИ, 2009. — 63 с.
3. **Торопчин Д.С.** Теоретические и практические аспекты проектирования устройств на переключаемых МОП-конденсаторах // Вестник МЭИ. 2014. № 3. С. 89–97.

*В.В. Замашкин, В. Дони, аспиранты;
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ НА ПОРОГ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Для проверки остроты стереозрения часто используются различные стереотесты, включая тесты на основе стереопар и случайных точечных стереограмм [1]. В данном исследовании был проведен анализ данных [2], полученных у 50 здоровых добровольцев с использованием стереопар без монокулярных признаков.

По полученным данным составлена нормальная кривая зависимости порога стереозрения от пространственной частоты, отображённая на рисунке 1. При расчёте доверительного интервала использовался коэффициент Стьюдента с доверительной вероятностью 0,9. Было установлено, что на средних частотах порог стереозрения в среднем составляет 125 угловых секунд (угл.с.), однако иногда он может даже достигать 20 угл.с. [3].

Измерены уровни освещённости и контрастности в процессе испытаний. Осуществлён анализ параметров, таких как распределение и ширина пространственно-частотного диапазона, а также высота и форма нормальной кривой. Проведено разбиение частот на низкие, средние и высокие, выполнен анализ зависимости порога стереоскопического зрения человека от синусоидальных решёток таких частот.

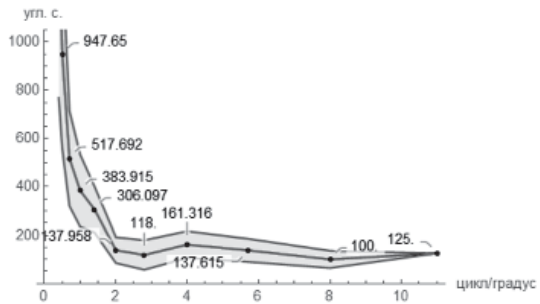


Рис. 1. Нормальная кривая зависимости порога стереозрения от пространственной частоты

Литература

1. Read J.C. Stereo vision and strabismus. // Eye (Lond). 2015 Vol. 29(2). pp. 214–224.
2. Замашкин В.В., Дони В., Викторов А.Ю., Зависимость порога стереозрения человека от пространственной частоты объёмного стимула // Радиоэлектроника, электроника и энергетика. Тр. 29 МНТК студ. и асп. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023.
3. Mehta J., O'Connor A. Test retest variability in stereoacuity measurements. // Strabismus. 2023. Vol 31(3), pp. 188–196.

Я.С. Пархоменко, студ.;
рук. Я.А. Куприянова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭКГ ПО ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ НИЗКОАМПЛИТУДНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ

Применение алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии (ОЗ ЭКГ) — реконструкции потенциалов или эквивалентных источников в сердце по электрическим потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки — призвано повысить чувствительность электрокардиографических обследований [1]. Также актуально решение ОЗ ЭКГ по высокочастотным низкоамплитудным (ВЧ НА) составляющим ЭКГ-сигналов [2]. В данной работе результатом решения ОЗ ЭКГ являются распределения эквивалентных источников на сферической поверхности квазиэпикарда. Такой вид информации неудобен для восприятия врачами-кардиологами. В настоящей работе предложен алгоритм интерпретации результатов решения ОЗ ЭКГ по ВЧ НА составляющим.

Идея алгоритма заключается во временном анализе результатов реконструкции в каждой точке поверхности квазиэпикарда. Для этого выделяются временные интервалы, на которых ВЧ НА составляющие имеют наибольшую интенсивность. Затем результаты отображаются на квазиэпикарде состояниями: 1 — наличие ВЧ НА составляющих, 0 — отсутствие.

Результаты работы алгоритма представлены на рисунке 1: отображен момент времени, при котором волна возбуждения проходит по области с замедленным проведением возбуждения (слева).

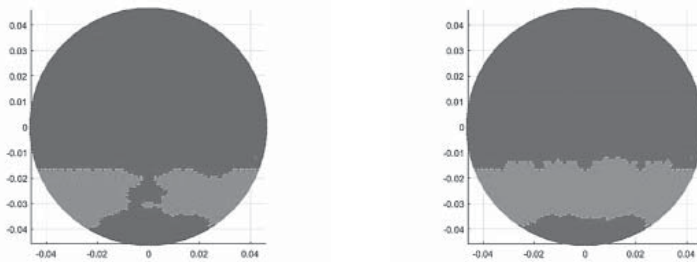


Рис. 1. Отображение ВЧ НА составляющих на квазиэпикарде при наличии (слева) и отсутствии (справа) патологии

Литература

1. **Титомир Л.И., Кнеппо П.** Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. — М.: Наука. Физматлит, 1999.
2. **Куприянова Я.А and etc.** Approbation of the Algorithm of Physiological Interpretation of the Results of Solving the Inverse Problem of Electrocardiography Using the Model of Electrical Activity of the Heart // ICCT, Astrakhan, Russian Federation, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICCT56057.2022.9976544. (2022)

А.В. Хаустова, студ.; рук. М.К. Седанкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Патологические процессы в организме сопровождаются изменением температуры биотканей. Располагая информацией о пространственном распределении температуры в глубине и на поверхности организма, можно в большинстве случаев определить расположение патологического процесса и диагностировать некоторые заболевания, сопровождающиеся локальным повышением или снижением температуры. Это можно сделать с помощью микроволновой радиотермометрии. Одной из классических областей применения метода является диагностика заболеваний головного мозга и оценка его функционального состояния [1, 2].

Цель работы — разработка и реализация ПО для медицинской визуализации результатов измерения температуры коры больших полушарий головного мозга с помощью микроволновой радиотермометрии. Необходимо построить температурные поля в псевдоцветах, имея ограниченное количество информации. На основе данных о предполагаемых точках измерения температуры, каждому измерению присваиваются определённые координаты. Формируется сетка, в узлах которой находятся точки, в которых известно значение температуры, в областях между ними происходит интерполяция.

Результатом выполнения работы является программное обеспечение, реализующее визуализацию карт тепловых полей для головного мозга. Построение карты температурного поля коры больших полушарий проводилось непосредственно на 3D-модели головы человека. Таким образом, получена объёмная интерактивная температурная модель, на которой визуализируется распределение температуры коры больших полушарий, полученная при измерении в соответствующих зонах головы человека. Данная модель может быть полезна для повышения наглядности результатов волновой радиотермометрии и полезна для применения в задачах медицинской визуализации температуры головного мозга.

Литература

1. **Веснин С.Г., Седанкин М.К.** Микроволновая радиотермометрия головного мозга // Машиностроитель. 2015. №. 11. С. 44–51.
2. **Веснин С.Г., Седанкин М.К., Пашкова Н.А.** Математическое моделирование собственного излучения головного мозга человека в микроволновом диапазоне // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. №. 3. С. 17–32.

*И.А. Останин, студ., И.В. Андреев, асп.;
рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ, ВНОСИМОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИЕЙ ПОТЕНЦИАЛОВ

При заболеваниях сердечно-сосудистой системы особо важна ранняя диагностика. Для повышения информативности ЭКГ-обследований необходимо решать обратную задачу ЭКГ — реконструировать распределение потенциалов или эквивалентных источников на поверхности сердца по известным картам наружных потенциалов (КНП). В работе использовались карты наружных потенциалов, построенные по многоэлектродной ЭКГ-системе [1].

Для оценки вклада интерполяции КНП в погрешность реконструкции эквивалентных токовых источников была использована программа реконструкции [2]. Исследование алгоритма проведено на моделированных данных, что позволило рассчитать коэффициент корреляции, который показывает степень схожести идеального распределения эквивалентных токовых источников на поверхности эпикарда и полученного после реконструкции. Для исключения влияния остальных факторов, вносящих погрешность в реконструкцию, реконструкция была проведена с идеальными КНП и с интерполированными. Таким образом, разность между результатами реконструкции иллюстрирует погрешность, вносимую интерполяцией КНП.

Проведенные исследования показали, что максимальные значения коэффициента корреляции при реконструкции двойного слоя токовых источников по интерполированным КНП на 10% ниже, чем при реконструкции по идеальным КНП. Максимальные значения корреляции при реконструкции простого слоя токовых источников по интерполированным КНП на 20% ниже, чем коэффициент корреляции при реконструкции по идеальным КНП. При этом максимальная корреляция идеальных и интерполированных КНП достаточно высока и составляет 85%.

Литература

1. **Останин И.А., Андреев И.В.** Построение карт наружных потенциалов по многоэлектродным ЭКГ-системам // Радиотехника, электротехника и энергетика: XXIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Тез. докл. М.: МЭИ, 2023, с. 184.
2. **Куприянова Я.А. и др.** Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии // XIV Международная научная конференция «Физика и радиотехника в медицине и экологии — ФРЭМЭ'2020» — Владимир-Суздаль, Россия, Доклады. Книга 1, с. 123–126.

И.В. Козловская, студ.;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ БИОСИГНАЛОВ В ПАКЕТЕ MATLAB

Применение математического аппарата нечеткой логики для анализа медицинских данных достаточно новое и перспективное направление, поскольку данный метод позволяет работать с субъективными входными данными и помогает специалистам принимать решения в сложных клинических случаях. Нечеткий классификатор может быть представлен в виде функции, которая присваивает точке в пространстве входных признаков метку класса с вычисляемой степенью уверенности [1].

Алгоритмы нечеткой логики — это математические инструменты, которые позволяют моделировать неопределенность и нечеткость в данных. Они основаны на теории нечетких множеств, которая позволяет работать не с абсолютными понятиями, а имеющими степень принадлежности. Был составлен алгоритм обработки параметров входных переменных и проведения классификации на основе нечеткого алгоритма Мамдани [2], составлены решающие правила, на основе которых полученное значение присваивается к одному из множеств: «норма», «небольшие отклонения» и «серьезные нарушения». Измеряемые параметры артериального давления (АД) — систолическое и диастолическое давление, а также суточных колебаний давления, в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) анализировались значения частоты и амплитуды альфа- и бета-ритмов, в стабิโลграмме — коэффициент Ромберга, длина и площадь статокинезиограммы.

Данный метод диагностики позволяет врачам получать результаты исследований в удобной для интерпретации форме. На основе справочных данных выбраны пороговые значения, определяющие границы нормы и патологии. Полученный алгоритм был реализован в среде MATLAB в приложении Fuzzy Logic Toolbox. Аналогично были составлены решающие правила для стабิโลграммы и ЭЭГ. Разработанные решающие правила могут быть использованы при создании систем для автоматического анализа критических состояний.

Литература

1. Нечеткие классификаторы в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Обзор [Электронный ресурс] - <https://www.sibjcem.ru/jour/article/view/1070>
2. Алгоритм Мамдани в системах нечеткого вывода. Принцип работы [Электронный ресурс] https://studbooks.net/2119426/informatika/algoritm_mamdani_sistemah_nechetkogo_vyvoda?

*Е.Д. Белякова, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.
(МГМУ им. И.М. Сеченова, ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ КОЛЕННОГО СУСТАВА С ОСТЕОАРТРИТОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Остеоартрит — самая распространенная форма поражения суставов. В 2020 году во всем мире насчитывается около 654 миллионов человек с остеоартритом коленного сустава [1]. Наиболее распространенным способом диагностики этого заболевания является компьютерная томография. Хотя это средство диагностики и не относят к числу сильно зависящих от оператора, однако ошибки, совершаемые техническими специалистами, проводящими обследование пациента, негативно сказываются на результате диагностики [2]. Обучение специалистов с применением фантомов позволит минимизировать число ошибок.

Целью данной работы является разработка антропоморфного фантома коленного сустава. Использование разрабатываемого фантома коленного сустава при подготовке рентгенолаборантов позволит снизить количество ошибок, допускаемых при компьютерной томографии. Фантом создается из материалов, по коэффициенту поглощения рентгеновских лучей соответствуют тканям человека, а литевая форма фантома, необходимая для придания внешнего сходства с коленным суставом человека, изготавливается с помощью 3D печати, при этом задействуются опыт и наработки, накопленные в ходе разработки фантомов для ультразвуковой визуализации [3–5].

Доклад может быть интересен студентам, интересующимся разработками в области компьютерной томографии и фантомного моделирования.

Литература

1. **Cui A, Li H, Wang D, Zhong J, Chen Y, Lu H.** Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine*. 2020 Nov 26;29–30:100587. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100587>.
2. **Кoo В.К.** Professional Certification of Medical Technologists in Korea, Japan, and United States of America. *Korean J Clin Lab Sci* 2019;51:1–14. <https://doi.org/10.15324/kjcls.2019.51.1.1>
3. **Leonov D et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *IJCARS* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11548-023-02911-4>
4. **Насибуллина А.А., Лейченко Д.В., Суслина Л.А., Леонов Д.В.** Обучающие фантомы для ультразвуковой диагностики// *Виртуальные технологии в медицине*. 2022. № 3 (33). С. 252–254.
5. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

Т.Л.Н. Чьонг, асп.; рук. М.Н. Крамм, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СМЕНА РАКУРСА ДЛЯ 2D ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭПИКАРДИАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Смена ракурса для визуализации карты эпикардиального потенциала нужна для того, чтобы предоставить кардиологу возможность более подробно наблюдать различные области карты, интересующие врача.

При построении 2D-карты потенциала необходимо перейти от точек на трехмерной поверхности квазиэпикарда к точкам на двумерной плоской развертке этой поверхности (UV-mapping) [1]. Формула (1) используется для вычисления UV-координат на плоской развертке:

$$\begin{aligned} u_{ij} &= \pi R_H \left(1 - \sin(\theta_j) \cdot \left(1 - \frac{2(i-1)}{N_\varphi} \right) \right), \quad i = 1..N_\varphi; \\ v_{ij} &= \pi R_H \theta_j, \quad j = 1..N_\theta; \end{aligned} \quad (1)$$

где $\theta_j = \pi(j-1)/N_\theta$;

N_θ — число точек по меридиану развертки; $N_\varphi = 2N_\theta$ — число точек по экватору развертки; R_H — радиус сферы квазиэпикарда.

На рис. 1 показаны полученные 2D карты потенциалов на поверхности сердца для момента вершины R-зубца при разных ракурсах.

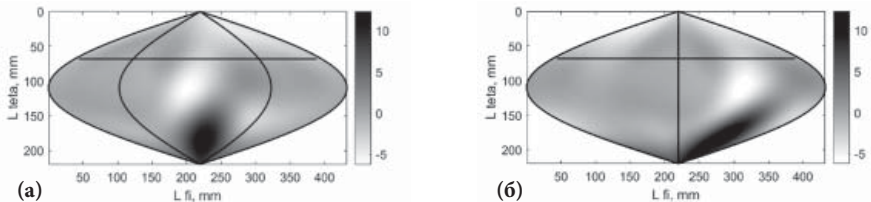


Рис. 1. Распределение электрического потенциала сердца при разных ракурсах

Если в строках матриц (1) индексу $i = N_\varphi/2$ соответствует угол $\varphi = \pi$ на сетке углов сферы квазиэпикарда, то на 2D-карте центральный вертикальный меридиан отображает центр левого предсердия и левого желудочка (см. рис. 1а). Если индексу $i = N_\varphi/2$ соответствует угол $\varphi = \pi/2$, то центральный меридиан отображает границу между левыми и правыми предсердиями и желудочками (см. рис. 1б). Таким образом, можно опционально менять ракурс наблюдения на 2D-карте потенциала.

Литература

1. М.Н. Крамм, Т.Л.Н. Чьонг, А.Ю. Бодин, О.Н. Бодин, Г.В. Жихарева. Алгоритм обработки электрокардиосигналов в многоэлектродной системе электрокардиологического скрининга для визуализации электрического потенциала на эпикарде // Медицинская техника. 2023. № 5(341). С. 13–17.

Ж. Жуманов, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАЗИЭПИКАРДА ПО КАРТАМ НАРУЖНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Болезни сердца прочно занимают лидирующие позиции среди причин смертности населения, поэтому необходимо совершенствовать общедоступные методы диагностики сердца и повышать их чувствительность. Решить эту проблему возможно путем решения обратной задачи электрокардиографии (ОЗ ЭКГ): определения потенциалов или эквивалентных источников на квазиэпикарде по электрическим потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки — картам наружных потенциалов (КНП). Для применения алгоритмов решения ОЗ ЭКГ [1] необходимо знать параметры квазиэпикарда — его размеры, положение в грудной клетке и ориентацию электрической оси сердца. Определить параметры квазиэпикарда можно по КНП, используя алгоритм, описанный в работе [2]. Настоящая работа посвящена исследованию этого алгоритма.

Для исследования используются результаты имитационного моделирования КНП при работе сердца в норме и при наличии патологий — областей с замедленным проведением возбуждения различных размеров и локализаций, при добавлении шумов различного уровня [3]. Достоинством такого подхода является возможность количественной оценки погрешности определения параметров квазиэпикарда.

Проведенные исследования показали, что погрешность алгоритма составляет порядка 4.9 мм при определении центра квазиэпикарда и порядка 0.5° при определении углов, определяющих положение электрической оси сердца, что является приемлемым для корректной работы алгоритма [1] решения ОЗ ЭКГ.

Литература

1. **Куприянова Я.А. и др.** Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии. // ФРЭМЭ'2020: 14-я Междунар. науч. конф. с науч. молодеж. школой им. И.Н. Спиридонова: Доклады. Кн. 1. — Александров: ООО «Графика», 2020. — С. 123–127.
2. **Куприянова Я.А. и др.** Определение параметров сферического квазиэпикарда по картам наружных электрокардиографических потенциалов для решения обратной задачи электрокардиографии // Эколого-физиологические проблемы адаптации: материалы XIX симпозиума с междунар. участием. — М.: РУДН, 2022. С. 113–114.
3. **Жихарева Г.В. и др.** Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения = Aghajanian's reading: матер. III Всеросс. науч.-практич. конф. с междунар. участием. — М.: РУДН, 2020. С. 87–89.

*П.Ю. Гречкина, студ.; А.Н. Ушков, асп.;
рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БИОСИГНАЛА

Электромиография (ЭМГ) является неотъемлемой частью диагностического исследования при подозрении на нарушения в работе нервно-мышечной системы. Сигналы ЭМГ могут содержать электрокардиографические (ЭКГ) сигналы — артефакты, которые трудно разделить с использованием аналоговых фильтров [1]. Следовательно, первостепенной задачей в обработке сигналов является выделение шума ЭКГ из ЭМГ.

В данной работе проведено комплексное исследование цифровой обработки биоэлектрических сигналов с помощью Python, в частности электрической активности мышц. Исходные сигналы представляли собой трехканальные ЭМГ с частотой дискретизации равной 10 кГц, причем два канала регистрировали сокращения бицепса и длинной ладонной мышцы, а третий — только активность сердца с целью эффективного устранения артефактов ЭКГ, что являлось первым этапом обработки. Следующим шагом была осуществлена фильтрация полученных сигналов с использованием специальных методов обработки, направленных на устранение шумов и выделения ключевых характеристик сигналов. Наконец, с целью использования снятых сигналов для обучения нейронной сети, полученные значения были переведены в удобный формат, обеспечивающий эффективное обучение и высокую точность результатов.

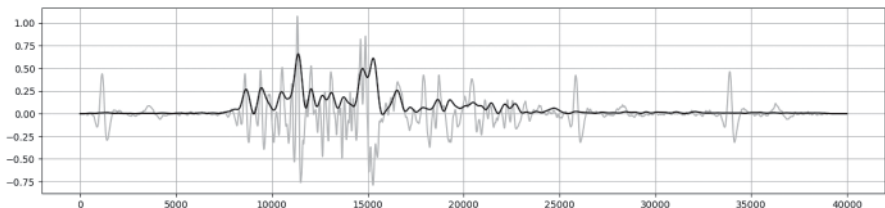


Рис. 1. Результат работы программы (ЭМГ бицепса)

Результаты работы подчеркивают важность цифровой обработки медицинских сигналов, предоставляют практические рекомендации для оптимизации этого процесса при одновременном рассмотрении сигналов с разных групп мышц на языке Python.

Литература

1. **Mello R.G.T., Oliveira L.F., Nadal J.** Digital Butterworth filter for subtracting noise from low magnitude surface electromyogram // Computer methods and programs in biomedicine. — 2007. — Т. 87. — №. 1. — С. 28–35.

*А.О. Поляков, А.Р. Горбунов, А.Н. Горбунова, студенты;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА РУКИ



Рис. 1. Конструкция бионического протеза руки

В настоящее время во всем мире активно рассматриваются вопросы протезирования утраченных конечностей. Большинство работ посвящены получению и обработке биосигналов, полученных, как правило, с миографических датчиков. При этом важной частью системы является сам протез. Поиск эффективного и экономически выгодного решения, обеспечивающего исполнение жестов и комфорт работы пользователя [1].

В настоящей работе обсуждаются преимущества и недостатки современных конструкций бионических протезов. Исследованы конструкции бионических протезов рук, материалы изготовления функциональных узлов для них, проанализированы методы автономной работы протеза на базе микроконтроллеров Atmega328, обеспечивающих режим энергопотребления электроники протеза. За основу используемых алгоритмов заложены базовые жесты руки [2]. Информация с датчиков поступает на исполнительный модуль при помощи беспроводной сети Bluetooth. Для правильного выполнения жеста в программе микроконтроллера предусмотрен алгоритм сравнения весовых коэффициентов, который опирается на данные полученные во время реабилитационного периода пользователя.

В результате работы был разработан прототип бионического протеза руки. Экспериментально проверены основные принципы работы бионических протезов [3].

Литература

1. **Коробенков Н.О., Кочетов С.С., Григоров П.А.** Бионическое протезирование конечности // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). — 2019. — Т. 158. — №. 3. — С. 22–27.
2. **Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С.** Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — №. 1-2 (115). — С. 125–130.
3. **Липнин Ю.А., Демидченко Е.А.** Разработка бионического протеза предплечья человека // Современные технологии и научно-технический прогресс. — 2018. — Т. 1. — С. 78–79.

*И.Д. Продьма, А.М. Шейнкин, студенты;
рук. А.Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, Москва)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВЕНОСНОЙ СИСТЕМЫ

Имеющиеся на рынке приборы неинвазивного измерения параметров кровеносной системы не поддерживают одновременные замеры уровня глюкозы и гемоглобина в крови, сатурации и пульса, вследствие чего задача проектирования такого устройства имеет высокую актуальность.

Целью работы является создание устройства, способного методом оптической спектроскопии определить концентрацию глюкозы и гемоглобина в крови [1], сатурацию и пульс.

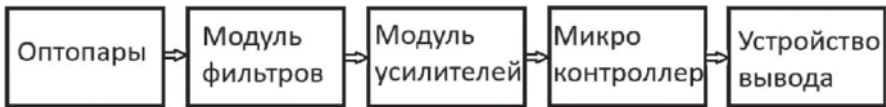


Рис. 1. Общая схема устройства

Проектируемое устройство состоит из оптопары, блока фильтров, блока усилителей и микроконтроллера с блоком вывода информации. Используя отношение между разностью базового напряжения и считываемого и базовым можно вычислить концентрации по формуле, являющейся следствием из закона Бутера-Ламберта-Бера [2], отношение напряжений пропорционально отношению световых интенсивностей, что позволяет провести такую замену в расчетах. Базовым напряжением считается считанное без дополнительной среды для прохождения света.

Молярные коэффициенты поглощения вычисляются в результате серии опытов с применением спектрофотометра (на базе факультета физики НИУ ВШЭ) и растворов необходимых веществ с известной концентрацией (подготовленных сотрудниками факультета биологии и биотехнологии НИУ ВШЭ). В дальнейшем они используются как константы для вычисления концентрации в тестовых растворах.

Практическая значимость работы заключается в создании компактного мониторингового прибора, предназначенного для отслеживания вышеуказанных параметров на живой ткани.

Литература

1. Б.С. Гуревич, В.В. Шаповалов, С.Ю. Дудников [и др.] Спектроскопический метод неинвазивного определения содержания глюкозы в крови человека // Научная сессия ГУАП: Сборник докладов. Том Часть II. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018. — С. 38–41.
2. Shapovalov V.V., Dudnikov S.Y., Zagorsky I.G., Gurevich B.S. A Non-Invasive Method for Spectroscopic Blood Glucose Monitoring. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(2): 110, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.2.16>

И.В. Шарапов, студ.;
рук. Е.В. Шалимова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИНДИВИДУАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОЛОГИИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

С каждым годом в мире неуклонно растет количество детей с диагнозом «бронхиальная астма». Простейшим методом ее диагностики является аускультация — звуки дыхания изменяются, появляются свисты, и врач может это зафиксировать [1]. Работа посвящена разработке портативного устройства для автоматической аускультации и определения патологий органов дыхания.

Кроме того, важной потенциальной сферой применения устройства может стать реаниматология. Пациенты отделений интенсивной терапии подвержены пневмониям из-за застоя воздуха. Применения подобного устройства позволит снять с врачей часть нагрузки по контролю пациентов.

В работе рассматривались физиологические основы процесса дыхания и эффекты, которые возникают при патологических изменениях в респираторной системе. Так же, были учтены правила проведения аускультации врачом [2]. Результатом стало появление рекомендации по размещению датчиков на теле пациента и определение основных признаков патологии, на которых будет базироваться анализ.

Также была проанализирована и подобрана элементная база. Для конструкторской проработки и реализации изделия. В частности, был выбран дискретный микрофон, выполненный по технологии MEMS, что позволяет сделать устройство миниатюрным и эффективным. Также была предложена электрическая принципиальная схема конечного изделия.

Кроме того, был разработан алгоритм и написано программное обеспечение, реализующего автоматическое определение патологий. Для определения использовался расчет спектральной плотности звукового сигнала по методу Уэлча [3]. В настоящий момент исследования ведутся вокруг проблемы звукоизоляции детектирующих микрофонов.

Литература

1. **Мухин Н.А., Моисеев В.С.** Пропедевтика внутренних болезней. Учебник. 2-е издание, переработанное и дополненное. ГЭОТАР-Медиа 2017 г. (Раздел: патология органов дыхания).
2. **Аускультация лёгких** | Дыхательные шумы | Видео с примерами /Электронный ресурс/ (<https://www.youtube.com/watch?v=HwqoeYunYdA>)
3. **Рангайян Р.М.** Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

Направление II
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Information technologies

Руководитель направления:

Директор института
информационных и вычислительных
технологий НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Вишняков Сергей Викторович

Секция 12

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Mathematical modeling

Председатель секции: к. ф. - м. н. Вестфальский Алексей Евгеньевич

Секретарь секции: к. ф. - м. н. Бирюков Алексей Михайлович

А. М. Бондаренко, студ.; рук. П. Р. Варшавский, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ОПИСАННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛНИЙ

По данным о молниях и землетрясениях, произошедших в районе Камчатки в период 2010–2016 г., исследовался эффект нетипичного пространственного распределения молний накануне землетрясений с большой магнитудой. Для описания данного эффекта были составлены характеристики, описывающие пространственное распределение молний, но между ними и магнитудой землетрясений нелинейная зависимость, из-за чего для описания данного эффекта необходимо использовать более сложную нелинейную модель. Рассматривая данные характеристики как признаковое пространство, к ним был применён метод главных компонент: данные были переведены в новый базис так, чтобы максимизировать дисперсионные проекции на базисные оси. Были выделены компоненты с наибольшими проекциями, так как они несут в себе больше информации. На полученных данных была построена модель регрессии методом градиентного бустинга над решающими деревьями, то есть была построена последовательность функций, минимизирующая среднеквадратичное отклонение путём градиентного спуска. Модель была отобрана методом селекции кросс-валидацией. Данные были разбиты на выборки разными способами, а модель выбиралась таким образом, чтобы минимизировать среднеквадратичное отклонение одновременно на всех выборках, что делает полученную модель более статистически устойчивой к новым данным. Описанными методами построена модель статистической взаимосвязи магнитуды землетрясений и пространственного распределения молний. В перспективе эффект, описанный данной моделью, можно использовать при прогнозировании землетрясений. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-17-00125.

Литература

1. **Федотов С.** Учебник по машинному обучению. [Электронный ресурс] / Академия Яндекса. Школа анализа данных. // Учебник по машинному обучению. — <https://academy.yandex.ru/handbook/ml>

А.А. Сесюкалов, студ. ;
 рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О СХЕМАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ СО СТРУКТУРОЙ ЮНИТАЛА

Юниталы [1] представляют собой разновидность сбалансированного неполного блок-дизайна $(n^3+1, n+1, 1)$ -СНБД. В схеме предварительного распределения ключей со структурой юнитала порядка n имеется $b = n^4 - n^3 + n^2$ соответствующих его блокам узлов, в ключевой памяти которых $k = n + 1$ ключей, соответствующих элементам блоков, из общего их числа $v = n^3 + 1$. Мощность k блока не превышает кубического корня мощности b множества блоков, что отвечает условию экономии ключевой памяти узлов беспроводной сенсорной сети (БСС). Этим и обусловлено их применение в БСС Интернета вещей [2] вместо традиционно используемых проективных плоскостей и трансверсальных комбинаторных блок-дизайнов. В [3] показано также, что множественные ключевые пространства на основе юниталов имеют более высокий показатель безусловной безопасности по сравнению с этими типами комбинаторных блок-дизайнов. Юниталы являются разрешимыми комбинаторными блок-дизайнами: множество блоков разбивается на параллельные классы из непересекающихся блоков, но это разбиение таково, что для любых двух блоков любого класса найдется блок иного класса, с которым пересекается каждый из них. Он может быть вычислен как пересечение совокупностей блоков, содержащих определенные элементы этих двух блоков. Это свойство используется для маршрутизации в схеме предварительного распределения ключей со структурой юнитала. Если двум узлам соответствуют блоки из различных параллельных классов, то эти блоки пересекаются и возможна одношаговая коммутации между узлами. Для коммутации между узлами одного класса можно выбрать по одному элементу (ключу) в каждом из них и вычислить блок, в котором они имеются. Для построения кибер-физических систем со структурой юнитала разработаны алгоритмы проективной геометрии $PP(2, q^2)$, где q это простое число или степень простого числа, а также соответствующие им алгоритмы арифметики дезарговых юниталов.

Литература

1. **Barwick Susan and Ebert Gary.** Unitals in projective planes. Springer Monographs in Mathematics. Springer, New York, 2008.
2. **Chegeni V., Haj Seyyed Javadi H., Moazami, Goudarzi M.R., Rezakhani A.A** Scalable Key Pre-distribution Scheme Based on the Unital Design for the Internet of Things Security // IETE J. Re-search. 2021. Pp. 1–12.
3. **Фролов А.Б., Кочетова Н.П.** О схемах предварительного распределения ключей и ключевых пространств в беспроводных сенсорных сетях со структурой комбинаторного блок-дизайна Вестник МЭИ, № 4, 2023. С. 162–176.

Л.В. Провоторова, студ.;
рук. Ю.А. Дубинский, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА НА ЯДРЕ ОПЕРАТОРА СЛЕДА

Пусть $G \subset \mathbb{R}^2$ — ограниченная область с липшицевой границей Γ . Рассматривается краевая задача:

$$\begin{cases} -\Delta u(x) = h(x), x \in G & (1) \\ (u|_{\Gamma}, \tau) = 0, & (2) \\ \left(\frac{\partial u}{\partial n}\right)_{norm} = f(\gamma), \gamma \in \Gamma & (3) \end{cases},$$

где $h(x) = (h_1(x), h_2(x)) \in L_2(G)$ — заданная вектор-функция, $\tau = (\tau_1, \tau_2)$ — касательный вектор к границе Γ , $f \in W_2^{1/2}(\Gamma)$, причем $(f, \tau) = 0$ почти всюду на Γ . В этой задаче вектор-функция $u(x) = (u_1(x), u_2(x))$, $x = (x_1, x_2)$ — искомая величина.

Будем искать слабое решение поставленной задачи, то есть вектор-функцию $u(x)$, удовлетворяющую интегральному тождеству, эквивалентному задаче (1)–(3). Именно, рассмотрим интегральное тождество:

$$\int_G (\nabla u, \nabla v) dx - \int_{\Gamma} (f, v|_{\Gamma}) d\gamma = \int_G (h, v) dx \quad (4),$$

где $u(x) \in W_2^1(G)$, удовлетворяющая условию (2), а пробные функции $v \in W_2^1(G)$ (также удовлетворяющие условию (2)) произвольны.

Пространство функций, удовлетворяющих условию (2):

$$W_{2,norm}^1(G) = \{u \in W_2^1(G) \mid (u|_{\Gamma}, \tau) = 0\}.$$

Теорема. Пусть $h \in L_2(G)$, $f \in W_2^{1/2}(\Gamma)$, $(f, \tau) = 0$, $\gamma \in \Gamma$. Задача (1)–(3) слабо корректна тогда и только тогда, когда для любой функции $u \in W_{2,norm}^1(G)$ справедливо неравенство

$$\int_G |u|^2 dx \leq M \int_G |\nabla u|^2 dx, \quad (5)$$

где $M > 0$ — постоянная.

Для поставленной задачи понятие слабой корректности рассматривается в смысле Адамара-Петровского.

Литература

1. Дубинский Ю.А. О ядрах операторов следа и краевых задачах теории поля // Проблемы математического анализа: Выпуск 106. С. 73–89, 2020.
2. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин — М.: Наука, 1976.

*А. Б. Ондар, асп.; Н.А. Татарникова, студ.;
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ ПО РАСЧЕТУ ЭМПИРИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОРОСИТЕЛЯ

В настоящее время на рынке представлены различные оросители, отличающиеся конструкцией, применяемыми материалами (ПВХ, ПЭ, ПП и др.), коэффициентами аэродинамического сопротивления ($\zeta_{с.о}$, $k_{ор}$) и тепловой эффективности (A , m).

Эмпирические коэффициенты определяются экспериментальным путем для каждого вида оросителя. В связи с необходимостью получения эмпирических коэффициентов оросителей и выполнения других работ, связанных с повышением надежности и эффективности функционирования градирен, были поставлены следующие задачи:

- проектирование и строительство лабораторной установки по определению эмпирических коэффициентов оросителей;
- разработка и реализация методики обработки результатов экспериментов. Суть методики заключается в том, что на основе экспериментальных данных по методу наименьших квадратов вычисляются эмпирические коэффициенты $\zeta_{с.о}$, $k_{ор}$, A и m , а также строятся графики с результатами расчетов;
- реализация методики в виде программы для электронно-вычислительной машины с проведением процессов валидации и верификации. По результатам процесса валидации методики были получены результаты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение параметров оросителя

Ороситель	Наименование параметров	По тех. паспорту	Результаты расчета	По тех. паспорту	Результаты расчета
БЭВ-200	Высота	$h_{ор}=1,125$ м (3 слоя)		$h_{ор}=0,75$ м (2 слоя)	
	$\zeta_{с.о}$	15,5	15,5025	15,8	15,8033
	$k_{ор}$	0,822	0,8218	0,709	0,7083
	A , 1/м	1,183	1,1828	1,566	1,5658
	m	0,39	0,3924	0,39	0,3894

Литература

1. **С.В. Звонарев.** Основы математического моделирования: учебное пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 112 с.
2. **Ондар А.Б., Татарникова Н.А.** Разработка методики расчета коэффициентов аэродинамического сопротивления и тепловой эффективности оросителей // Наука и инновации — современные концепции. — Москва: Издательство «Инфинити», 2023. — С. 140–148.

*Е.П. Азарова, Е.Р. Громова,
А.Е. Маланов, А.А. Мизгирёва, студенты;
рук-ли О.С. Черникова, к.т.н., доц.,
Н.А. Черненко, ст. преп. (НГТУ, Новосибирск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Наибольшая механическая прочность керамических образцов достигается при максимальной кажущейся плотности, зависящей в том числе от таких параметров, как влажность глины и давление прессования. В работе [1] была получена функция, описывающая зависимость кажущейся плотности от давления прессования для различных значений формовочной влажности красного глинистого сырья. Для углубленного исследования влияния влажности глины и давления прессования на кажущуюся плотность образцов из различных керамических материалов, были построены регрессионные модели на основе измерений, полученных в ходе 21 эксперимента для белой глины и такого же количества для красной глины. В ходе эксперимента формовочная влажность изменялась от 5,6% до 12,4%, а давление прессования — от 16,6 МПа до 33,4 МПа.

На основе метода наименьших квадратов (МНК) были построены линейная [2], нелинейная и нелинейная с мультиколлинеарностью регрессионные модели [3], описывающие зависимость параметров глинястых образцов. Установлено, что как для образцов из белой глины, так и из красной глины нелинейная регрессионная модель с мультиколлинеарностью наиболее точно аппроксимирует экспериментальные данные. Полученные модели для вычисления кажущейся плотности образцов из белой (1) и красной (2) глины имеют вид (x_1 — влажность, x_2 — давление):

$$\rho_6 = 1447,4 + 16,22 x_1 + 18,97 x_2 - 0,26 x_1^2 - 0,25 x_2^2 - 0,18 x_1 x_2, \quad (1)$$

$$\rho_k = 60,17 + 195,6 x_1 + 69,85 x_2 - 5,82 x_1^2 - 0,9 x_2^2 - 2,17 x_1 x_2. \quad (2)$$

На основе полученных моделей определены оптимальные значения влажности и давления, при которых изделия будут иметь наибольшую кажущуюся плотность.

Литература

1. **Швед И.А.** Определение параметров формования керамических материалов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : XXVI междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов : тез. докл. — Москва : Радуга, 2020. — С. 374.
2. **Вучков И., Бояджиева Л., Салаков Е.** Прикладной линейный регрессионный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1987.
3. **Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ: В 2 кн. — М.: Финансы и статистика, 1987.

*А.К. Дмитриева, студ.;
рук. А.Е. Вестфальский, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Рассматривается алгоритм расчета распределения потоков мощности на разных участках электрической цепи. Имеется проблема перераспределения передаваемых потоков мощности по участкам электрической цепи. Для достижения необходимого значения мощности на практике используется внедрение фазосдвигающих трансформаторов (ФСТ) в ветви цепи. ФСТ позволяет осуществить преднамеренное поперечное регулирование напряжения, в результате чего изменяется угол между векторами напряжений по концам электропередачи и, как следствие, происходит желаемое изменение мощности. В настоящий момент внедрение ФСТ в электрические цепи находится на начальной стадии, а поиск наиболее подходящей ветви цепи для их установки является актуальной задачей.

В данной работе задача расчета регулирующего угла рассматривается на примере трехконтурной цепи с различными значениями желаемой мощности на одной из ветвей при разных вариантах размещения ФСТ на оставшихся ветвях.

Вычисление необходимого угла регулирования ФСТ для достижения заданной мощности проводится через решение системы нелинейных уравнений, описывающих баланс мощностей на узлах цепи с учетом внедрения ФСТ и соотношения углов контуров внутри цепи, составляемая по авторской методике из [1]. Для решения системы используется метод Ньютона для решения систем нелинейных уравнений [2] со специальным подбором начального приближения.

Литература

1. Технологии и технические средства управления режимами электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов / А.Ф. Бондаренко, А.А. Басов, В.Э. Вороницкий и др. / Под ред. Ю.А. Шарова // Инновационное машиностроение. 2017. № 1. С. 184–217.
2. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы: учебное пособие // Издательский дом МЭИ. 2008. № 4. С. 201–204.

К.А. Рубинов, асп.;
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН

Трехмерная графика является важной областью компьютерной графики, в которой находят применение методы машинного обучения. Известны работы, посвященные применению нейронных сетей в процессе трехмерной визуализации с целью достижения более высокой эффективности [1, 2]. Однако, известные на данный момент нейросетевые методы, которые позволяют экономить вычислительные ресурсы, по качеству продолжают уступать традиционным методам.

В данной работе исследуются методы трехмерной визуализации при помощи генеративно-сопоставительных нейронных сетей [3]. Предлагаются модифицированные варианты метода, основанного на использовании генеративно-сопоставительной сети для генерации реалистичного освещения в экранном пространстве [1, 2].

В работе разработаны реализации предложенных вариантов моделей нейронной сети для решения задачи генерации реалистичного освещения в экранном пространстве, также разработаны программы для их обучения и тестирования. Проведенные с обученными моделями эксперименты показали, что добавление полной визуализации к входным данным существенно увеличивает качество изображений с точки зрения функций ошибки SSIM и PSNR. Добавление шума к слоям дискриминатора повышает качество работы сети, но не существенно. Передача полной визуализации на скрытые сверточные слои вместо входного без использования методов повышения разрешения приводит к снижению оценок но позволяет избежать возникновения нежелательных эффектов на краях объектов.

Литература

1. **Jared Harris-Dewey, Richard Klein.** Generative Adversarial Networks for Non-Raytraced Global Illumination on Older GPU Hardware [Электронный ресурс] // arXiv:2110.12039. — URL: <https://arxiv.org/abs/2110.12039> (Дата обращения: 4.11.2023).
2. **Goodfellow I., Pouget-Abadie J., et al.** Generative adversarial nets // In Proceedings of the 27th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2014. pp. 2672–2680.
3. **M.M. Thomas, A.G. Forbes.** Deep illumination: Approximating dynamic global illumination with generative adversarial network. [Электронный ресурс] // arXiv:1710.09834. — URL: <https://arxiv.org/abs/1710.09834> (Дата обращения: 4.11.2023).

Д.И. Внуков, студ.;
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОГО ПРОТОКОЛА ЗАЩИЩЕННОЙ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Рассматривается протокол защищенной биометрической аутентификации [1] с целью оценки возможности его практической реализации по требуемым временным затратам. Участниками протокола являются снабженный сенсором пользователь, чьи биометрические данные регистрируются, а затем сопоставляются с зарегистрированным образцом, сервер аутентификации, обрабатывающий запросы пользователя, база данных для хранения шаблонов биоматериалов и сопоставитель определяющий соответствие текущего шаблона биоматериала с образцом из базы данных. Семантическая секретность протокола обеспечивается применением крипто системы Гольдвассер-Микали [2] в двух ее исполнения — с бинарным входом для зашифрования идентификатора пользователя и численным входом для зашифрования параметров шаблона биоматериалов.

Для ускорения операций по выбору параметров криптосистемы использованы операции модульного умножения и возведения в степень по Монтгомери.

Для имитации дистанционного взаимодействия участников протокола соответствующие программы размещены на различных компьютерах. Дистанционное взаимодействие программ участника, сервера аутентификации, базы данных и сопоставителя организовано на основе средств удаленного доступа Алгебраического процессора МЭИ [3].

Получены данные о временных затратах на процедуры регистрации и аутентификации.

Литература

1. **Bringer I J., Chabanne H., Izabach`ene M., Pointcheval D., Tang Q., and Zimmer S.** (2007) An Application of the Goldwasser-Micali Cryptosystem to Biometric Authentication \ in J. Pieprzyk, H. Ghodosi, and E. Dawson (Eds.): ACISP 2007, LNCS 4586, pp. 96–106.
2. **Goldwasser, S., Micali, S.** (1982) Probabilistic encryption and how to play mental poker keeping secret all partial information. In: Proceedings of the Fourteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, May 5–7, 1982, San Francisco, California, USA, pp. 365–377. ACM Press, New York.
3. **Frolov A, Vinnikov A.** (2014) FSM Simulation of Cryptographic Protocols Using Algebraic Processor. In / Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 286, pp. 189–198.

А.И. Захарова, студ.;
рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБНАРУЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ ОРБИТЫ

Рассматривается баллистическое движение движущегося тела (ДТ) в поле тяжести Земли при наиболее неблагоприятных для наблюдателя условиях — почти неизменный азимут, которым пренебрегаем, и предполагаем, что изменяется только угол места; это означает, что рассматривается ситуация, в которой траектория объекта и наблюдатель находятся в одной плоскости. Двумерная постановка задачи обоснована в [1].

Задача состоит в разработке и моделировании алгоритма, позволяющего обнаруживать смещение места приземления по отношению к наблюдателю в момент падения. Решение сводится к проверке сложной гипотезы $H_0: |\Delta| \leq \Delta_0^*$ (место падения ДТ вблизи измерителя) против альтернативы $H_1: |\Delta| \geq \Delta_1^*, \Delta_1^* > \Delta_0^*$ (модуль смещения точки приземления ДТ относительно наблюдателя превышает заданные максимальные расстояния Δ_1^*, Δ_0^*). Количество измерений ограничено из-за задаваемого времени запаса τ_3 (времени принятия решения от последнего измерения движения ДТ до момента падения).

В силу малой информации о параметре смещения на первоначальном, достаточно длительном участке [2] оценивается горизонтальная составляющая скорости ДТ V_x . На последнем участке оцениваются параметр смещения Δ и параметр τ_0 (время от первого измерения на последнем участке до падения). Алгоритм основывается на последовательном критерии отношения вероятностей. Рассматривается отношение правдоподобия при получении каждого нового измерения:

$$L(x) = p(x | \hat{V}_x, \hat{V}_y, H_1) / p(x | \hat{V}_x, \hat{V}_y, H_0)$$

В работе выводятся оценки неизвестных параметров орбиты, приводится описание разработки алгоритма и анализ его результатов.

Литература

1. **Горицкий Ю.А., Тигетов Д.Г., Ануфриев А.М.** Двумерная модель для оценки эффективности угловых измерений по эллиптическим орбитам // «Известия РАН. Теория и системы управления», 2020, № 6, 12 с.
2. **Горицкий Ю.А., Захарова А.И.** Оценка потенциальной точности некоторых параметров орбит по угловым измерениям: двумерная модель // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 133–144.

*И.В. Женькова, асп.;
рук. М.Ф. Черепова, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ФОРМУЛА СКАЧКА ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОСТОГО СЛОЯ С ДИНИ-НЕПРЕРЫВНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

В слое $D = \mathbb{R}^n \times (0, T)$, $0 < t < T$, выделяем полуограниченную область

$$\Omega = \{(x, t) \in D: x_n > g(x', t)\}, \quad x' = (x_1, \dots, x_{n-1}),$$

с негладкой по переменной t боковой границей

$$\Sigma = \{(x, t) \in \bar{D}: x_n = \bar{g}(x', t)\}.$$

Предполагаем, что поверхность Σ принадлежит пространству Дини-Гёльдера $\mathbb{H}^{1+\omega_1, 1/2+\omega_1}$,

где ω_1 — модуль непрерывности, удовлетворяющий условию Дини (определение функций типа модуля непрерывности см., например, в [1]).

В области Ω рассматривается параболический потенциал простого слоя

$$U\varphi(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Sigma_\tau} \Gamma(x, t; \xi, \tau) \varphi(\xi, \tau) d\sigma_\xi,$$

где $\Gamma(x, t; \xi, \tau)$ — фундаментальное решение многомерного равномерно параболического уравнения второго порядка с Дини-непрерывными коэффициентами ([2]), $\Sigma_\tau = \Sigma \cap \{t = \tau\}$.

Доказана формула скачка для производной по конормали потенциала $U\varphi$ в предположении, что плотность φ принадлежит пространству Дини $\mathbb{H}^{0, \omega_2}(\Sigma)$,

где ω_2 — модуль непрерывности, удовлетворяющий условию Дини. Эта формула позволяет решать с помощью потенциала простого слоя вторую и третью начально-краевые задачи для многомерного параболического уравнения второго порядка.

В случае пространств Гёльдера данная формула для нецилиндрической области с негладкой боковой границей доказана в [3].

Литература

1. **Дзядык В.К.** Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами. М.: Наука, 1977.
2. **Zhenyakova I.V., Cherepova M.F.**, The Cauchy Problem for a Multi-Dimensional Parabolic Equation with Dini-Continuous Coefficients, Journal of Mathematical Sciences, 264, №5 (2022), 581–602.
3. **Черепова М.Ф.** О гладкости параболического потенциала простого слоя // Деп. в ВИНТИ АН СССР. 29.06.88. № 5194-B88.

Я.С. Печенкин, студ.;
рук. Г.В. Крупин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ВЕРСИИ САЙТА ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «НАДЕЖДА ЭНЕРГЕТИКИ»

В связи с ростом популярности мобильных устройств возрастает актуальность интернет-ресурсов, адаптированных для использования на смартфонах и планшетах.

В докладе рассматриваются процесс и принципы создания мобильного веб-сайта для олимпиады школьников «Надежда энергетики». Осуществляется анализ способов представления структуры веб-сайта: разделения и взаимодействия баз данных, кода, отвечающего за логику работы сайта, и кода, отвечающего за внешнее представление данных, в частности, рассматривается схема Model-View-Controll [1]. На основе производимого анализа предпринимаются дальнейшие действия по разработке веб-сайта, адаптированного для браузеров мобильных устройств.

Рассматривается вопрос применения систем управления содержимым (content management system), в том числе использования базы данных для реализации CMS без использования сторонних библиотек и ресурсов.

Приводятся механизмы идентификации мобильного устройства.

Основной особенностью создаваемого сайта является применение кэширования данных на стороне клиента с целью экономии трафика и ускорения отклика на действия и запросы пользователя.

Перспективы использования результатов разработки мобильной версии сайта заключаются в облегчении доступа пользователей к информации и материалам олимпиады, упомянутой выше. Также результаты разработки можно использовать в качестве основы для дальнейшего улучшения пользовательского опыта получаемого при работе с интернет-ресурсами олимпиады.

Литература

1. **Котеров Д.В., Костарев А.Ф.** PHP 5 — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 1104 с.: ил. — (В подлиннике).
2. **Веллинг Л., Томпсон Л.** Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL 4-е изд. 2016.
3. **PHP Manual [Электронный ресурс]**, URL: <https://www.php.net/docs.php> (дата обращения 15.10.23).
4. **Дунаев В.В.** HTML, скрипты и стили. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 816 с.: ил. — (В подлиннике).
5. **MySQL Documentation [Электронный ресурс]**, URL: <https://dev.mysql.com/doc/> (дата обращения 15.10.23).

А.А. Николаев, студ.;
рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ЗАДАЧИ СЛОЖНОГО ТЕПЛОБМЕНА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ЭКРАНОВ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Рассматривается одномерная начально-краевая задача, описывающая процесс распространения тепла в системе, состоящей из $2n$ теплопроводящих серых экранов с чередующимися теплофизическими свойствами с шириной ε_1 и ε_2 для экранов с нечетными и четными номерами соответственно, причем $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1/n$. Экраны разделены вакуумными прослойками и представляют собой слои однородного теплопроводящего материала с постоянной удельной теплоемкостью $c_1 > 0$ и $c_2 > 0$, теплопроводностью $k_1 > 0$ и $k_2 > 0$, плотностью $\rho_1 > 0$ и $\rho_2 > 0$, степенью черноты θ_1 , $0 < \theta_1 \leq 1$ и θ_2 , $0 < \theta_2 \leq 1$ для экранов с нечетными и четными номерами соответственно. Уравнение теплопроводности дополнено начальными условиями и граничными условиями теплообмена излучением по закону Стефана-Больцмана на границе раздела экранов и на границах системы экранов.

В данной работе предложены два асимптотических приближения рассматриваемой задачи, проведена их программная реализация и выполнена серия вычислительных экспериментов, позволяющая сделать выводы о применимости построенных методов.

Важно отметить, что при совпадении свойств и $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, построенные приближения совпадают с асимптотическими аппроксимациями предложенными в [1].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект No. 19-11-00033).

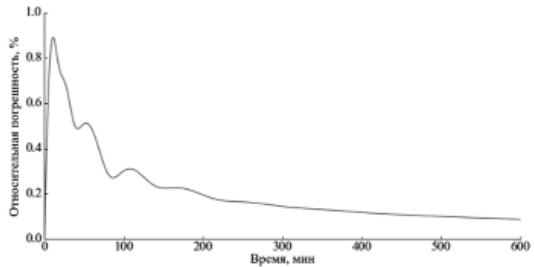


Рис. 1. Относительная погрешность одного из асимптотических приближений

Литература

1. Амосов А.А., Гулин В.В. Полудискретные и асимптотические аппроксимации задачи переноса тепла в системе серых экранов при наличии излучения // Вестник МЭИ. — 2008. — № 6. — С. 5–15.

А.И.Захарова, студ. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ МЭИ ПО ОЗНАКОМЛЕНИЮ С ОЛИМПИАДАМИ

В МЭИ существует и расширяется олимпиадное движение студентов по различным направлениям для подготовки учащихся к активной творческой профессиональной и научно-исследовательской деятельности.

Чтобы студент смог заблаговременно узнать об олимпиадах по его интересующим направлениям необходимо создать веб-приложение:

Предлагается рассмотреть такие возможности веб-приложения: преподаватели, которые ведут факультативы по подготовке к олимпиадам по соответствующим дисциплинам, будут иметь возможность добавлять студентов, готовых участвовать в олимпиадах; студенты, как пользователи, смогут входить в свой личный кабинет в веб-приложении и просматривать список предлагаемых олимпиад, которые будут соответствовать его интересам и курсу обучения.

Цель работы: рассмотреть и описать процесс проектирования веб-приложения, содержащего данные возможности.

Для создания веб-приложения с использованием Java применяется популярный фреймворк Spring Boot. В работе интегрируется Spring Data JPA с PostgreSQL.

В работе предложена и разработана внутренняя логика веб-приложения.

Литература

1. **Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влссидес.** Приемы объектно-ориентированного проектирования. Питер, 2015.

Секция 13

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Applied mathematics and artificial intelligence

Председатель секции: д.т.н., профессор Еремеев Александр Павлович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Чернецов Андрей Михайлович

*М.А. Харченко, студ.; Н.А. Панявин, асп.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ NOCLASS

Экспертные системы (ЭС) — это системы искусственного интеллекта (интеллектуальные системы), предназначенные для решения плохоформализованных и слабоструктурированных задач в различных проблемных областях, на основе заложенных в них знаний специалистов-экспертов [1–4].

Для создания интеллектуальных систем необходимо наличие соответствующих инструментальных программных средств, а также учебно-методических материалов для подготовки специалистов.

В связи с сокращением числа доступных прикладных программных продуктов, разрабатываемое ПО может быть применено в различных областях человеческой деятельности, где использование точных математических методов и моделей затруднительно или невозможно. К ним относятся: медицина, обучение, поддержка принятия решений и управление в сложных ситуациях и т.д. [5–6].

Данная ЭС принадлежит к классу индуктивных систем, которые строят дерево поиска решений на основе множества примеров. Взаимодействие с системой обеспечивается за счет серии экранов с интуитивно понятным интерфейсом. Каждый такой экран отвечает за отдельную задачу, например, формирование базы знаний или работа в режиме консультации.

Прототип ЭС реализован на языке Python в интерфейсе PyQt. По итогам разработки готовится регистрация программного продукта.

Литература

1. **Попов Э.В.** Искусственный интеллект: Системы общения и экспертные системы. Т. 1, под ред. Э.В. Попова. — М.: Радио и связь, 1990. — 464 с.
2. **Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д.** Статические и динамические экспертные системы: Учебное пособие / — М.: Финансы и статистика, 1996. — 320 с.
3. **Джексон П.** Введение в экспертные системы: Учебное пособие. Пер. с англ. — М.: «Вильямс», 2001. — 624 с.
4. **Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.,** Базы знаний интеллектуальных систем — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
5. **Еремеев А.П., Чибизова Н.В.,** Инструментальные средства конструирования экспертных систем: Методическое пособие / — Москва, Издательство МЭИ, 2002.
6. **ГОСТ Р 59277-2020.** Системы ИИ. Классификация СИИ.

К.О. Сидоров, студ.;
рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВСЕСТОРОННЕЕ СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА BERT

Модель BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers — двунаправленные презентации кодировщика для трансформеров) была представлена миру в статье, опубликованной исследователями из Google AI Language. [1] Ключевое нововведение в данной работе — использование механизма attention к языковому моделированию. Семейство алгоритмов, основанных на данной концепции, на данный момент является state-of-the-art решением в большинстве задач в области Natural Language Processing по качеству с точки зрения точности на основных классических датасетах. В основном разработкой и предобучением моделей занимаются такие технологические компании, как Google, Meta Platforms, Microsoft, так как данные задачи являются вычислительно сложными и дорогими.

Целью данной работы является исследование основных трудов в истории развития алгоритмов, основанных на технологии BERT, а также поиск доступных реализаций предобученных моделей.

В работе был проведен анализ основных архитектур нейронных сетей для решения поставленной проблемы. Таким образом, были рассмотрены основные труды, начиная с архитектур BERT, Transformer-XL [2], и завершая работами по DeBERTa [3], BigBird [4]. Также был проведен анализ доступных предобученных весов и реализаций указанных архитектур, открытых в свободном доступе в сети Internet.

В результате исследовательской работы был составлен краткий обзор основных различий рассмотренных концепций развития научных трудов и классификация применения определённой модификации BERT к конкретному классу задач. Это позволит в дальнейшем достаточно просто и быстро выбрать конкретную имплементацию алгоритма для применения подхода в области языкового моделирования.

Литература

1. **Jacob Devlin Ming-Wei Chang Kenton Lee Kristina Toutanova.** BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. 24 May 2019.
2. **Zihang Dai, Zhilin Yang, Yiming Yang, Jaime Carbonell, Quoc V. Le, Ruslan Salakhutdinov.** Transformer-XL: Attentive Language Models Beyond a Fixed-Length Context. 2 Jun 2019.
3. **Pengcheng He, Xiaodong Liu, Jianfeng Gao, Weizhu Chen.** DeBERTa: Decoding-enhanced BERT with Disentangled Attention, 6 Oct 2021.
4. **Manzil Zaheer, Guru Guruganesh, Avinava Dubey, Joshua Ainslie, Chris Alberti, Santiago Ontanon, Philip Pham, Anirudh Ravula, Qifan Wang, Li Yang, Amr Ahmed.** Big Bird: Transformers for Longer Sequences, 8 Jan 2021.

*В.С. Петров, студ.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В МЕТОДАХ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

В работе исследуются возможности интеграции методов обучения с подкреплением и нечеткой логики в плане повышения эффективности алгоритмов обучения с подкреплением [1]. Основное внимание уделяется применению таких интегрированных методов в интеллектуальных системах реального времени (ИС РВ) [2], особенно в ИС РВ поддержки принятия решений для мониторинга и управления сложными техническими объектами. В качестве основы используется алгоритм Q-learning [3]. Как правило, данный алгоритм применяется для решения задач с дискретным состоянием малой размерности и дискретным пространством действий. Когда состояния или действия указываются непрерывно, применение метода существенно усложняется. Для решения этой проблемы предлагается использовать нечеткую логику, т.е. нечеткое обучение.

Нечеткое Q-обучение (FQL) [4] — это расширение алгоритма Q-обучения, позволяющее преодолеть упомянутую выше проблему. Кроме того, FQL позволяет инкапсулировать экспертные знания в систему и ускорить таким образом процесс обучения. В FQL принятие решений представлено нечеткой системой логического вывода (FIS), которая рассматривает большие дискретные или непрерывные состояния в качестве входных данных.

В работе был исследован и реализован алгоритм обучения с подкреплением Fuzzy Q-learning, использующий нечеткую логику для представления состояний. Выбор нечетких правил имеет определяющее значение при обучении агента. Модель тестировалась на задачах CartPole и MountainCar. В задаче CartPole максимальная средняя полученная награда модели оказалась равной 250, задача MountainCar была решена за 80 эпизодов, что показало эффективность предложенного подхода для ИС РВ.

Литература

1. **Sutton R.S. and Barto A.G.**, Reinforcement Learning: An Introduction. Second ed. 2018: The MIT Press.
2. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. — М.: ИНФРА-М, 2020.
3. **Watkins, C. J. and P. Dayan.** Q-learning. Machine learning. 1992. №8 (3-4), pp. 279–292.
4. **Glorennec P.Y., Jouffe L.**, “Fuzzy q-learning,” in Intl. Conference on Fuzzy Systems, vol. 2, 1997, pp. 659–662.

И.А. Васильченко студ.;
рук. М.М. Маран, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ УВЕДОМЛЕНИЙ НА БАЗЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

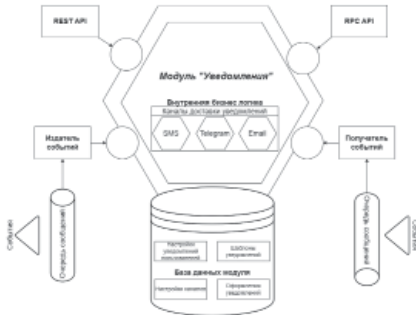


Рис. 1. Структурная схема микросервиса

Микросервисная архитектура, как подход к разработке программных продуктов, был окончательно определен в мае 2011 года на конференции архитекторов ПО, проходившей в Венеции [1]. За прошедшее время этот подход показал свою эффективность.

Цель работы заключалась в создании фреймворка для отечественной платформы «Турбо X», на базе которой строятся ERP системы. Частью данного фреймворка является универсальный модуль (микросервис) для отправки уведомлений о событиях, происходящих в ERP системе. Рабочее название модуля — «Уведомления». Микросервисная архитектура определила основные требования к модулю: слабая связанность, возможность независимого развертывания, наличие API [2].

На данном этапе разработана структура модуля и его прототип. Структурная схема представлена на рисунке 1. В прототипе реализована генерация и отправка сообщений для событий в системе. В зависимости от параметров события определяется список получателей сообщения и каналы доставки с учетом предпочтений каждого из выбранных получателей. Доступными каналами доставки являются: Telegram, Email и SMS. Получатель может самостоятельно управлять набором уведомлений и предпочтительными каналами доставки для каждого уведомления. Также есть механизм настройки шаблонов уведомлений, с помощью которого можно задать внешний вид и структуру отправляемого сообщения.

Литература

1. Dragoni N., Giallorenzo S., Lafuente A. L., Mazzara M., Montesi F., Mustafin R., Safina L. (2017) Microservices: yesterday, today, and tomorrow // Present and ulterior software engineering. pp. 195–216. DOI: 10.1007/978-3-319-67425-4_12.
2. Microservices [Электронный ресурс]. — URL: <https://microservices.io> (дата обращения 14.10.2023)

И.А. Васильченко студ.;
рук. М.М. Маран, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МИКРОСЕРВИСА ИСПОЛНЕНИЯ СЦЕНАРИЕВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ

Постоянно повышающийся уровень автоматизации деятельности крупных предприятий привел к появлению сложных ИТ-ландшафтов, состоящих из разных систем. Каждая система имеет свои механизмы реакции на событие, что в сложном ИТ-ландшафте с большим количеством систем приводит к росту трудозатрат на комплексное создание или изменение его поведения. В связи с этим становится актуальной задача общей генерации реакций на событие для нескольких систем.

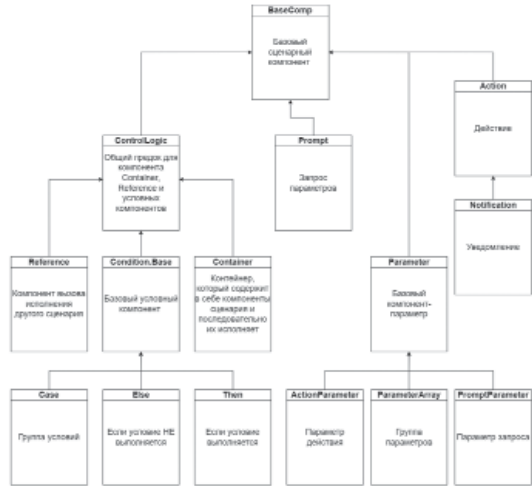


Рис. 1. Схема сценарных компонентов

Была поставлена задача по структурированию управления реакциями системы на события в виде разработки микросервиса исполнения сценариев (Микросервис «Сценарии»). Основные паттерны, примененные при разработке микросервиса: «Microservice architecture», «Database-per-service», «Domain Event», «Messaging» (по Крису Ричардсону [1]).

В качестве реакции на события микросервис выполняет настроенные для него сценарии — скрипты. Сценарии хранятся в базе данных и состоят из компонентов, схема которых представлена на рисунке 1. Каждый компонент обладает определенным поведением. Данные о выполнении каждого сценария регистрируются в журнале событий, что обеспечивает прозрачность и отслеживаемость процессов. Скрипты создаются и настраиваются методами low-code во встроенном редакторе. Микросервис предоставляет API для создания сценариев и управления ими. В случае прекращения работы сервиса активные сценарии сохраняются и восстанавливаются при следующем запуске сервиса.

Литература

1. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. — СПб.: Питер, 2019. — 544 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).

А.П. Олейников, студ.;
рук. М.М. Маран, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ

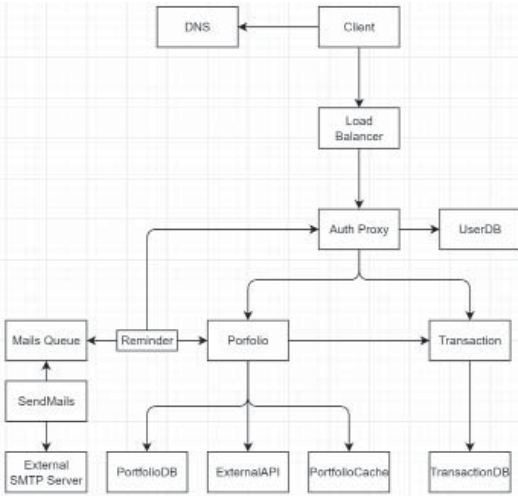


Рис. 1. Диаграмма «Архитектура системы»

траты по времени были сокращены за счет функционала системы, который позволяет избавиться от ручной работы по записи сделок, высчитыванию процентного соотношения активов в портфеле и количества бумаг, которое стоит докупить при плановом пополнении.

В работе была спроектирована система управления инвестиционными портфелями. Описана программная реализация подсистем, а также предоставлена схема структуры баз данных [2]. Проведено описание реализации пользовательского интерфейса и методы тестирования серверной и клиентской частей информационной системы. Диаграмма архитектуры серверной части системы представлена на рисунке 1.

Литература

1. Alex Xu. "System Design Interview", 269 страниц.
2. PostgreSQL: Documentation: 14: PostgreSQL 14.3 Documentation [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.postgresql.org/docs/14/index.html>. (Дата обращения: 21.10.2023)
3. BlackTerminal — a single tool for a stock market investor [Электронный ресурс]. URL: <https://blackterminal.com/>. (Дата обращения: 21.10.2023)

А.А. Лосев, студ. ;
 рук. В.П. Кутепов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПОШАГОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ FRTL ПРОГРАММ

В основе языка FRTL (Functional Parallel Typified Language) [1], созданного с целью эффективного выполнения функциональных программ на компьютерных системах с общей памятью, лежит композиционная форма задания функций с использованием операций подстановки, суперпозиции и рекурсии. Данная особенность отличает его от других известных языков функционального программирования, преимущественно базирующихся на лямбда-исчислении.

Цель работы заключалась в разработке приложения для поддержки пошагового проектирования FRTL программ. В основе данного подхода лежит наглядное представление функции в виде древовидной схемы, отражающей шаги ее декомпозиции на более мелкие подфункции, что в значительной степени облегчает проектирование программы, а также позволяет переиспользовать функции при решении других задач и легко модифицировать уже готовые решения [2].

Было разработано приложение, структурная схема которого представлена на рисунке 1. Модуль «Визуальный проектировщик» является инструментальной средой для визуальной разработки схемы, отражающей функциональные зависимости внутри разрабатываемой FRTL программы. Модуль «Интерпретатор» предоставляет возможности для интерпретации введенных разработчиком функций, а модуль «Транслятор» отвечает за формирование текстового представления FRTL программы.



Рис. 1. Структурная схема приложения

Литература

1. Кутепов В.П., Шамаль П.Н. Реализация языка функционального параллельного программирования FRTL на многоядерных компьютерах // Известия РАН. Серия «Теория и системы управления». 2014. № 3. С. 46–60.
2. Котляров Д.В., Кутепов В.П., Осипов М.А. Граф-схемное потоковое параллельное программирование и его реализация на кластерных системах // Известия РАН. Серия «Теория и системы управления» 2005. № 1. С. 75–96.

Г.С. Красночуб, студ.;
рук. В.О. Толчеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ WORD2VEC ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Для обработки текстов предложены специализированные модели, позволяющие переводить термины в численные вектора. Традиционно для этих целей используется модель Bag of Words [1] («мешок слов»), но в 2013 году усилиями исследователей из компании «Google» была разработана и предложена новая нейросетевая модель Word2Vec [2], позволяющая частично учитывать контекст слов.

На данный момент Word2Vec и её модификации успешно применяются для обработки и анализа текстовых документов, но до сих пор нельзя сказать, какая же модель представления текста лучше. В связи с этим проводится большое количество исследований, в которых сопоставляются представленные модели на различных документальных коллекциях.

Для проведения исследования по сравнению представленных моделей в задачах кластеризации-визуализации текстов и бинарной классификации документов была сформирована выборка научных статей, состоящая из 3418 библиографических описаний документов, из которых 1584 относятся к теме «Интеллектуальный анализ данных», а 1834 относятся к теме «Computer Science». Данная выборка была разделена на 2 класса: «ИАД» и «не ИАД» документы, которые были преобразованы для их дальнейшего использования в моделях. В ходе экспериментов было выявлено, что обе модели позволяют проводить качественную кластеризацию-визуализацию исходных корпусов текстов. В задаче бинарной классификации модель Bag of Words получила оценки 0.96–0.99 по критериям качества F-score и AUC ROC, а Word2Vec 0.9–0.96 соответственно при использовании 3 различных классификаторов. Данные различия в качестве классификации не настолько различимы, чтобы пренебрегать очевидными плюсами структурированной модели Word2Vec, учитывающую семантическую близость слов.

Из результатов исследования следует, что модель Word2Vec показывает сопоставимые с моделью Bag of Words результаты при решении задач кластеризации-визуализации и бинарной классификации и предлагается к использованию в случаях, когда необходимо провести более глубокие исследования текста и нет необходимости в максимальной точности классификации.

Литература

1. **Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2014 — 528 с.
2. **Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean** Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space [cs.CL] 7 Sep 2013.

В.Р. Батырев, студ.;
рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОВЕРКИ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

В связи с ростом востребованности дистанционной формы обучения, появилась необходимость в совершенствовании уже имеющихся инструментов, применяемых в рамках данной формы образования. Существуют задачи, которые необходимо, по возможности, автоматизировать, чтобы снять часть нагрузки с преподавателей. Такими задачами, например, являются: рассылка заданий студентам, проверка выполненных работ на соответствие требованиям, на отсутствие заимствований и т.д.

При возникновении нужды в автоматизации выполнения рутинных повторяющихся задач наиболее остро встает вопрос о внедрении в различные процессы RPA (рисунок 1) — технологии роботизированной автоматизации процессов [1].

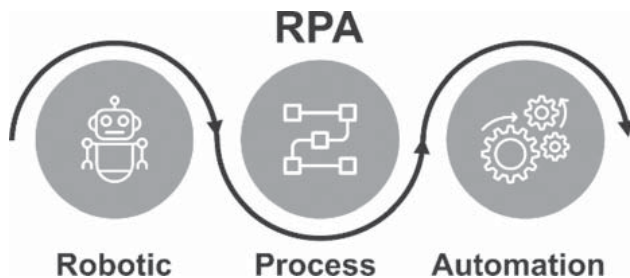


Рис. 1. RPA — роботизированная автоматизация процессов

В процессе выполнения работы был разработан прототип системы роботизации процессов проверки домашних заданий для применения в составе дистанционных образовательных технологий. Для этого были реализованы следующие функции:

- 1) Периодическое получение работ, присланных студентами;
- 2) Определение личности (ФИО, группа) студента, дисциплины и номера выполненной работы, а также номера варианта;
- 3) Проверка наличия отчёта и иных требуемых рабочих материалов;
- 4) Уведомление пользователя соответствующим сообщением о ходе проверки выполненных работ.

Литература

1. **Clint Boulton. What is RPA? A revolution in business process automation**, [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.cio.com/article/3236451/business-process-management/what-is-rpa-robotic-process-automation-explained.html> (дата обращения 19.02.2022)

А.В. Кондратьев, студ.;
рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕРВИСНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В связи с переходом обучения на дистанционные образовательные технологии (ДОТ) увеличилась нагрузка на преподавателей [1]. Весьма актуальной задачей в этой ситуации стало развитие средств поддержки процессов ЭО и ДОТ. Сейчас активно исследуется интеграция в эти средства современных достижений в области роботизации процессов (RPA, от англ. robotic process automation).

RPA-системы — это современное технологичное решение, которое приходит на помощь для автоматизации многих рутинных процессов [2]. RPA может выполнять процессы на основе правил и имитировать действия человека.

Многие направления деятельности могут быть автоматизированы. В образовательных учреждениях разрабатываются различные системы для управления таких процессов. Так, Ф. Джонсон и С.С. Эйде рассматривают внедрение RPA в высших учебных заведениях на примере внедрения RPA-системы в секцию приёма в Норвежскую школу экономики (NHH) [3].

Целью работы является разработка прототипа системы роботизации процессов дистанционного образования с применением микросервисного подхода. Данная система должна выполнять функции рассылки студентам домашних заданий и лабораторных работ.

В работе было создано веб-приложение и была развёрнута соответствующая инфраструктура, все компоненты системы были успешно протестированы. Результаты этой работы можно использовать для построения более сложной системы, что позволит её использовать самостоятельно или интегрировать в другие системы в качестве одного из компонента.

Литература

1. **Глобальная коалиция по вопросам образования.** [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru.unesco.org/covid19/globaleducationcoalition> (дата обращения 23.10.2023)
2. **4 примера удачного использования RPA-системы.** [Электронный ресурс]. — URL: <https://clck.ru/36Frpx> (дата обращения 23.10.2023)
3. **Johnson F, Eide S.S.** An Inquiry Into Robotic Process Automation Implementation in Institutions for Higher Education [Электронный ресурс]. — URL: <https://openaccess.nhh.no/nhh-xmlui/bitstream/handle/11250/2586638/masterthesis.PDF?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения 23.10.2023)

*Н.Ю. Филинов, студ.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ТЕМПОРАЛЬНОЙ ВЕТВЯЩЕЙСЯ ЛОГИКИ В РАМКАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В работе представлен алгоритм model checking для проверки истинности формул темпоральной ветвящейся логики CTL на структурах Крипке [1]. Логика ветвящегося времени CTL (Computational Tree Logic) является ограничением CTL* [1]. CTL* (Extended Computational Tree Logic) — темпоральная логика, описывающая свойства деревьев вычислений над структурами Крипке [5]. Алгоритм основан на разметке состояний структуры Крипке подформулами формул CTL, которые истинны в этих состояниях. Алгоритм линеен по сложности как относительно числа подформул формул CTL Φ , так и относительно числа состояний S и переходов R структуры Крипке. Алгоритм был реализован в библиотеке pyModelChecking [2] на языке Python и продемонстрирован на примере.

Полученные результаты показывают, что разработанный алгоритм характеризуется новизной и может быть применен в интеллектуальных системах реального времени с достаточно жесткими временными ограничениями для прогнозирования развития процесса и последствий принимаемых решений в сложных системах различного назначения (технических/технологических, организационных, транспортных и т.д.).

Работа выполнена в рамках разработки инструментальных средств построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени. Данные исследования продолжают исследования и разработки по темпоральной логике ветвящегося времени, описанные в работах [3–4].

Литература

1. **Карпов Ю.Г.** Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем.
2. <https://pymodelchecking.readthedocs.io/en/latest/>
3. **Еремеев А.П., Куриленко И.Е.** Темпоральные модели на основе логики ветвящегося времени в интеллектуальных системах // Искусственный интеллект и принятие решений, № 1, 2011, с. 14–26.
4. **Еремеев А.П., Куриленко И.В.** Реализация вывода в темпоральных моделях ветвящегося времени // Известия РАН. Теория и системы управления., № 1, 2017, с. 107–127. ISSN 0002-3388.
5. **Е.М. Clarke, Е.А. Emerson.** Design and synthesis of synchronization skeletons using branching time temporal logic. In Logic of Programs: Workshop. LNCS 131. Springer, 1981.

И.С. Калюжный, студ.; И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЫЯВЛЕНИЮ ПЛАГИАТА В ИСХОДНОМ КОДЕ

Вместе с развитием сетевых технологий, возросла актуальность проблемы плагиата исходного кода: с увеличением объемов и семантической сложности программ, проверка кода на плагиат вручную потеряла смысл. Возникла потребность в средствах автоматического выявления плагиата в исходном коде, способных обнаружить как простейшие случаи плагиата, так и сложные, в которых фрагменты кода могут сильно различаться визуально, будучи при этом идейными и смысловыми копиями друг друга.

Случаи плагиата можно разделить на 4 типа [1]:

- 1) Код скопирован без изменений;
- 2) Код скопирован с «косметическими» заменами идентификаторов;
- 3) Код модифицирован путем добавления, редактирования или удаления его фрагментов или изменения порядка их исполнения, без изменений в логике программы;
- 4) Код некоторым образом переписан с общим сохранением логики работы и функциональности, однако синтаксически может полностью отличаться от оригинала.

Выявление плагиата исходного кода проходит в 4 этапа: сначала проводится предварительная обработка кода, затем код трансформируется к виду, который подходит для анализа, после чего начинается непосредственный поиск совпадений. На заключительном этапе результат фильтруется и преобразовывается для улучшения наглядности.

В работе содержится сравнительный анализ подходов к решению задачи выявления плагиата в исходном коде, таких как text-based, token-based и tree-based подходы [1]. Также проведено сравнение с уже существующими системами поиска плагиата, такими как JPlag и MOSS [2].

Эта работа может помочь в создании продуктов, которые упростят работу преподавателей при поиске плагиата в работах студентов. В свою очередь, это позволит уменьшить число заимствований кода и повысить качество учебного процесса.

Литература

1. **Roy C. K., Cordy J. R.** A survey on software clone detection research // Queen's School of Computing TR. — 2007. — Т. 541. — №. 115. — С. 64–68.
2. **Hage J., Rademaker P., van Vugt N.** A comparison of plagiarism detection tools // Utrecht University. Utrecht, The Netherlands. — 2010. — Т. 28. — №. 1.

С.М. Башкова, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ANYTIME-АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В работе рассматриваются anytime-модификации алгоритмов для оптимизации временных затрат в интеллектуальных системах реального времени (ИС РВ) в условиях достаточно жестких временных ограничений.

Anytime-алгоритмы — это алгоритмы, качество найденных результатов которых улучшается с увеличением времени работы алгоритма. Такие алгоритмы можно выполнять двумя способами: либо с заранее предусмотренным лимитом времени выполнения («контрактные вычисления»), либо с возможностью останова в любой момент времени («гибкие вычисления»). Важнейшую роль при использовании гибких алгоритмов играет понятие *профиля производительности* — функция ожидаемого качества решения от времени его поиска. Такая оценка, полученная аналитически или статистически (на основе многократных запусков алгоритма на разных наборах исходных данных), позволяет алгоритмам планирования наиболее эффективно распределять количество времени, необходимого для работы данного гибкого алгоритма [1]. Anytime-алгоритмы могут быть использованы в различных областях искусственного интеллекта, таких как планирование, распознавание образов, машинное обучение, робототехника и т.д. Они также могут быть полезны в реальных ситуациях, где требуется быстрое и гибкое решение сложных задач [2–3].

В работе были реализованы anytime-модификации алгоритмов градиентного спуска и Ньютона-Рафсона [3] на языке Python. Подобные модификации позволяют получить приемлемое решение до завершения работы алгоритма по запросу пользователя или по истечению временного лимита, что открывает перспективы для их использования в системах с достаточно жесткими временными ограничениями.

Литература

1. **Еремеев А.П., Митрофанов Д.Ю.** Планирование поиска решения на основе гибких алгоритмов для систем поддержки принятия решений в реальном времени // Вестник МЭИ. — 210. — № 2. — С. 85–92.
2. **Hensen E., Zilberstein S.** Monitoring the Progress of Anytime Problem-solving. // In Proceedings of the 22st International Conference on Machine Learning, Portland.
3. **Zilberstein S.** Operational Rationality through Compilation of Anytime Algorithms. // Ph.D. dissertation, Computer Science Division, University of California at Berkley, 1993.
4. **Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В.** Вычислительные методы для инженеров. М.: Высшая школа, 1994.

Р.Л. Чирва, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЛОГИКИ АЛЛЕНА

В работе исследуется использование темпоральной интервальной логики (на примере логики Аллена [1]) для решения реальных задач. Проблема вывода в темпоральной логике сводится к известной проблеме задачи согласования ограничений (ЗСО) и к её частному случаю задачи согласования временных ограничений (ЗСВО) [2]. Для решения этой задачи построена темпоральная интервальная алгебра, позволяющая формализовать алгоритмы в терминах алгебраических операций. Логика Аллена широко применяется на практике, например, в интеллектуальных системах поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ), так как она характеризуется достаточной выразительностью и наличием полиномиальных алгоритмов вывода.

Существует множество алгоритмов решения ЗСВО, что позволяет построить темпоральную логику, способную решать задачи реальной размерности за приемлемое время. Для решения указанных задач предлагается использовать алгоритм поиска с возвратами [3], но так как он обладает экспоненциальной сложностью, то в качестве приближенного алгоритма часто применяется алгоритм согласования путей [4].

В работе была исследована и реализована темпоральная логика Аллена. В качестве примера использовалась задача планирования в пространстве состояний (мире кубиков). Робот (который может иметь одну или несколько “рук”) должен перевести конфигурацию кубиков из начального состояния (Initial) в целевое (Goal). В процессе решения была составлена интервальная сеть и согласующий сценарий, которые позволяют решить задачу с учетом временных (темпоральных) ограничений, наложенных на действия робота.

Литература

1. **Allen J. F. and Ferguson G.** Actions and Events in Interval Temporal Logic. // Technical Report 521, 1994.
2. **Еремеев А.П., Куриленко И.В.** Реализация вывода в темпоральных моделях ветвящегося времени // Известия РАН. Теория и системы управления., № 1, 2017, с. 107–127. ISSN 0002-3388.
3. **Kondrak, P.van Beek.** A Theoretical Evaluation of Selected Backtracking Algorithms // Artificial Intelligence, 89, 1997.
4. **Ladkin P.B., Maddux R.** On binary constraint problems. // Journal of the ACM, 41(3), May 1994.

Р.К. Кутдусов, студ.; рук. И.А. Воробьева, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ NLP И СЕТЕВОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОСТРОЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРСОНАЖЕЙ ЛИТЕРАТУРНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ

Исследования, объединяющие методы обработки естественного языка (NLP) и сетевого анализа (NA) востребованы в современной науке о данных и имеют практическую пользу во многих сферах, от образования до бизнеса. Методы NLP позволяют извлечь нужную информацию из огромного объема текстов на естественном языке [1], а методы NA — представить выделенную информацию в удобном для визуализации формате графа и исследовать её, выявляя значимые скрытые закономерности [2]. Рассматриваемая задача построения и анализа сети взаимодействий героев литературного произведения использует обе методики и вызывает интерес исследователей не только в области компьютерных, но и гуманитарных наук.

На первом этапе из текста выделяют связи (ребра графа) между персонажами (узлами графа), где «связь» — это все взаимодействия двух персонажей на протяжении всего повествования. Ребро получает вес $v_i \in \mathbb{N}$, при этом v_i увеличивается на единицу, если связанные персонажи упоминаются в одном контексте (контекст фиксируют количеством предложений). Задача извлечения информации в NLP обычно решается с использованием ML-модели распознавания именованных сущностей (NER). Необходимо иметь список персонажей, чтобы среди всех распознанных NER-моделью сущностей выделять связи только между персонажами. Сложность представляет ситуация кореферентности, когда разные имена указывают на одного и того же героя (например, «Анна Каренина» и «Анна»). В исследовании рассмотрены различные пути построения списка персонажей и разрешения кореферентности.

На втором этапе построенный граф персонажей анализируется с помощью методов NA, в частности с помощью методов кластеризации. После тестового сравнения нескольких методов кластеризации, для анализа был выбран алгоритм Лувена. Также были использованы методы оценивающие центральность, ассортативность и другие параметры сети.

В качестве примера в исследовании описано построение и анализ сети взаимодействий персонажей романа Л. Н. Толстого «Анна Каренина».

Литература

1. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных : учеб. пособие / Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э. [и др.] — М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. — 269 с.
2. **Евин И.А.** Введение в теорию сложных сетей // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. т. 2, № 2. с. 121–141.

Л.Н. Ходосевич, студ.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ДИАГНОСТИРОВАНИИ ПАТОЛОГИЙ ЗРЕНИЯ

В работе исследуются возможности применения сверточных нейронных сетей (СНС) для решения задачи диагностики патологий зрения на основе данных с медицинского прибора электроретинографа (данных электроретинограмм, ЭРГ) [1]. Данные ЭРГ не размечены, поэтому предлагается использование алгоритмов обучения “без учителя”. Использовалась СНС глубокого обучения для создания вектор латентного пространства для ЭРГ, далее применялся алгоритм кластеризации на основе k -средних, функция ошибки — расстояние между центром кластера и точкой в латентном пространстве. Проблема данного подхода в том, что алгоритм k -средних не стабилен и в случае неправильной начальной кластеризации СНС будет обучаться некорректно [2].

В работе вместо традиционной СНС была применена НС типа автокодировщик (autoencoder, АЕ) и алгоритм k -средних. Эта НС состоит из двух частей — кодировщика и декодировщика [3]. Первая строит латентное пространство, а вторая восстанавливает оригинальную картинку из вектора латентного пространства. Его главная особенность — способность самостоятельно запоминать ключевые особенности во входных данных. Алгоритм кластеризации применяется к векторам латентного пространства. Функция ошибки в таком случае — расстояние между центром кластера и точкой в латентном пространстве и ошибка восстановления оригинального ЭРГ, в данной работе — функция средней квадратичной ошибки. Такой подход позволил повысить стабильность обучения ИНС и улучшить корректность кластеризации.

Исследования и разработки проводятся в рамках совместных исследований и разработок НИУ «МЭИ» (кафедра ПМИИ) и НМИЦ ГБ им. Гельмгольца по созданию интеллектуальной системы поддержки принятия решений для ранней диагностики сложных патологий зрения.

Литература

1. **Еремеев А.П., Ивлиев С.А.** Методы и программные средства для анализа и диагностики сложных патологий зрения // Вестник МЭИ. 2020. № 5. С. 140–147. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-5-140-147
2. **Ulrike von Luxburg** Clustering Stability: An Overview // Foundations and Trends® in Machine Learning: Vol. 2: No. 3, 2010 pp 235–274. DOI: 10.1561/22000000008.
3. **Ng A.** Sparse autoencoder// CS294A Lecture notes [<https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs294a/cs294a.1104/sparseAutoencoder.pdf>]

*А.С. Макушкин, студ.;
рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ БАЗЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ APACHE HADOOP, APACHE SPARK

В крупных компания остро стоит вопрос автоматизации процессов, связанных с обработкой и хранением большого количества данных для дальнейшего анализа и принятия решений на основе этих данных. Классические нераспределенные базы данных не справляются с хранением и обработкой исторических данных, которые накопила компания за период своего существования, или выполняют эти задачи неэффективно.

Технологии Apache Hadoop, Spark — самые перспективные технологии для хранения и обработки данных. Множество российских компаний, включая «МТС-Банк», «ВКонтакте» и «Яндекс» используют эти технологии для накопления данных.

Apache Spark — это быстрая и мощная программная библиотека для обработки данных в распределенных вычислительных средах. Она предоставляет множество высокоуровневых библиотек и API для обработки данных, анализа данных, машинного обучения и многих других задач [1].

Apache Hadoop — это технология для обработки больших объемов данных. Она предоставляет средства для хранения данных и их обработки в распределенной среде [2].

В работе для хранения и обработки базы прецедентов был разработан веб-сервис на языке Python для взаимодействия с Apache Hadoop и Apache Spark. Суть прецедентного подхода заключается в том, что анализируются имеющиеся прецеденты, чтобы извлечь знания, которые могут быть применены при решении новых задач. Этот подход используется для выявления закономерностей, что позволяет принимать более эффективные решения в будущем [3].

Литература

1. **Apache Spark [Электронный ресурс]:** документация по Apache Spark. — Электронные данные. — режим доступа к журналу: <https://spark.apache.org> (06.11.2023).
2. **Apache Hadoop [Электронный ресурс]:** документация по Apache Hadoop. — Электронные данные. — режим доступа к журналу: <https://hadoop.apache.org> (06.11.2023).
3. **П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев** «Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений» // Искусственный интеллект и принятие решений, № 2, 2009 — С. 45–57.

П.А. Темерова, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА СООБЩЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ПУБЛИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

С каждым годом скорость и объемы распространения информации в социальных сетях увеличиваются и будут продолжать увеличиваться. За последний год возросла востребованность получения информации через публичные информационные каналы социальной сети Telegram. В 2022 году Telegram вошёл в топ-5 самых загружаемых приложений в мире, а количество активных пользователей мессенджера превысило 800 миллионов человек в месяц. В России существует свыше 450 000 каналов, что представляет собой весьма значительный источник воздействия на различные сферы жизни. Возникла необходимость в исследовании существующих методов и программных средств анализа сообщений участников данных публичных информационных каналов для исключения сообщений, не относящихся к теме канала и несущих рекламный или нежелательный характер.

В рамках работы был проведен анализ эффективности различных методов классификации и кластеризации текстовых сообщений для обнаружения спама, их достоинства и недостатки. Среди кластеризации были рассмотрены методы: алгоритм K-средних, самоорганизующиеся карты, спектральная кластеризация, Expectation Maximization, метод тематической кластеризации, LSA и SOM. Среди классификации были рассмотрены методы: k-ближайших соседей, метод Байеса, метод SVM, логистическая регрессия, метод случайных деревьев. На основе проведенной работы был реализован алгоритм с наиболее подходящим методом, которых эффективнее остальных работает с коротким сообщениями.

Литература

1. **Черезов, Д.С.** Обзор основных методов классификации и кластеризации данных / Д.С. Черезов, Н.А. Тюкачев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2009. — № 2. — С. 23–27.
2. **Дударин П.В.** // Алгоритм построения иерархического классификатора коротких текстовых фрагментов на основе кластеризации нечеткого графа / П.В. Дударин, Н.Г. Ярушкина // Радиотехника, Москва, — 2017. — № 6.
3. **Д.А. Девяткин, Р.Е. Суворов, И.В. Соченков** // Метод тематической кластеризации масштабных коллекций научно-технических документов. ИТиВС. 2013. № 1. С. 33–42.
4. 800 миллионов пользователей и Telegram Premium [URL]: <https://telegram.org/blog/stories/ru> (дата обращения: 01.11.2023).

А.Н. Сингин, студ.; рук. А.В. Кожевников, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КУРСА «АРХИТЕКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ» В ВИДЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Повышение качества восприятия информации и оценка качества ее усвоения являются фундаментальными проблемами образовательного процесса. В современной практике образовательных процессов все больше используют web-технологии, которые позволяют обеспечивать доступность, наглядность, интерактивность материала, а также возможности тестирования, и соответственно, повышают степень его усвоения.

Для решения поставленных задач для курса «Архитектуры вычислительных систем» было разработано web-приложение на базе клиент-серверной архитектуры с использованием языка программирования JavaScript и фреймворка React. Подобный выбор технических средств позволяет обеспечить поддержку широкого спектра браузеров и устройств, высокую скорость разработки, а также плавность и быстроту взаимодействия пользователя с приложением. Оно обеспечивает авторизованный доступ к материалам курса, в том числе интерактивным моделям базовых вычислительных схем [1], таких как сумматоры различных форм организации, шифраторы и дешифраторы, взаимодействие с которыми посредством манипуляций входной информацией и параметрами установок позволяет развить понимание принципов работы каждой.

Также разработанное web-приложение обеспечивает возможности онлайн-тестирования [2], в том числе: случайной и настраиваемой генерации теста из банка вопросов, заранее импортированного преподавателем при помощи конструктора; отложенного и мгновенного запуска теста; ограничения количества попыток и срока выполнения теста; автоматической, ручной и комбинированной проверки выполненных тестов; контроля за добросовестностью студента во время прохождения тестирования; предоставления студенту сжатого и детального отчета по результатам теста; экспорта ведомости сдачи теста по группе студентов.

Литература

1. Архитектура вычислительных систем. Часть 1: метод. указания / О.Ю. Шамаева. — М.: Издательство МЭИ, 2020. — 40 с.
2. **Захарова О.А.** Опыт создания системы контроля знаний на основе компьютерного тестирования // Образовательные технологии и общество. — 2015. — № 2. — С. 590–600.

А.Б. Донцов, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПАТОЛОГИЙ ЗРЕНИЯ

Диагностика патологий сетчатки глаза, особенно на ранней стадии развития заболевания, осуществляется на основе так называемых электроретинограмм (ЭРГ) [1], которые представляют собой отображение графиков ответов сетчатки глаза на световые импульсы, создаваемые специализированными медицинскими приборами — электроретинографами. Однако, интерпретацию ЭРГ и предварительную постановку диагноза могут осуществлять лишь высококвалифицированные эксперты-физиологи, число которых весьма ограничено.

С целью достижения более точной интерпретации патологий и обеспечения обучения практикующих врачей, а также молодых специалистов, в работе предлагается создание и внедрение когнитивных моделей, которые позволят визуализировать динамику изменений в патологии сетчатки глаза в течение времени [2, 3]. Это позволит улучшить диагностику заболевания и приступить к лечению на ранних стадиях его развития. Для визуализации динамики изменения сетчатки при развитии патологии, а также при проводимом лечении, планируется анализ временных рядов (оцифрованных ЭРГ на различных стадиях заболевания и лечения), применение методов интерполяции и экстраполяции. Для возможности представления плохо определенной (зашумленной) информации планируется применение методов нечеткой логики (нечетких продукционных правил).

Работа выполняется в рамках совместных исследований и разработок НИУ «МЭИ» и «Национального медицинского исследовательского центра глазных болезней имени Гельмгольца» по созданию интеллектуальной системы поддержки принятия решений для ранней диагностики сложных патологий зрения.

Литература

1. **Aleksandr P. Eremeev, Irina V. Tsapenko.** THE USE OF COGNITIVE GRAPHICS IN THE DIAGNOSIS OF COMPLEX VISION PATHOLOGIES // International Journal “Information Theories and Applications”, Vol. 26, Number 1, 2019. Pp. 83–99.
2. **Зенкин А.А.** Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Наука, 1991.
3. **Бондарь Е.Л.** Исследование и разработка когнитивных образов для представления динамики изменений патологий сетчатки: магистерская диссертация, М.: НИУ «МЭИ», 2023.

М.С. Павленко, студ.; рук. А.О. Щирый, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДОБРАБОТКА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МАКСИМАЛЬНЫХ НАБЛЮДАЕМЫХ ЧАСТОТ ИОНОСФЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОТКИХ ВОЛН

Наклонное зондирование ионосферы (НЗИ) коротковолновыми (КВ) сигналами является одним из наиболее информативных методов исследования ионосферы и диагностики КВ радиолиний [1]. Целью настоящей работы была обработка временных рядов максимальных наблюдаемых частот (МНЧ), автоматически полученных по данным НЗИ [2]. Особенностями временных рядов, полученных таким образом, является непостоянство временных интервалов между соседними измерениями и наличие пропусков во фрагментах с равными временными интервалами, также во временных рядах присутствуют выбросы (обусловленные либо ошибками алгоритма автоматического определения МНЧ, либо кратковременным появлением аномальных мод распространения КВ). Данные такого рода требуют предобработки. Необходимо привести ряд к виду с равномерными интервалами, а также провести обработку уровней ряда на наличие выбросов.

В первую очередь была устранена неоднородность ряда по временным интервалам дополнением временного ряда пустыми значениями. При этом размер выборки увеличился на 148%. После этого необходимо заполнить уровни ряда с отсутствующими значениями. В данной работе пропуски были устранены методом интерполяции сплайном пятого порядка. Далее была проведена проверка выборки на выбросы и их устранение. С этой целью был использован фильтр Хэмпла. Обнаруженные выбросы были устранены путём замещения их скользящим средним.

Задачами дальнейших исследований является построение предиктивных моделей временных рядов МНЧ, для чего предполагается использование модели ARIMA (ARMA, SARIMA), адаптивных методов краткосрочного прогнозирования (модели Хольта, Уинтерса, Хольта-Уинтерса), нейросети LSTM.

Литература

1. **Щирый А.О.** Развитие средств автоматизации наземного радиозондирования ионосферы // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения.* 2014. Т. 14. № 5.
2. **Щирый А.О.** Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний // *Журнал радиоэлектроники.* 2022. № 10.

М.С. Сергеев, студ.; рук. А.В. Кожевников, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЫЯВЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ПЕРЕЛОМОВ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Технологии распознавания изображений в медицине широко используются для диагностики и лечения различных заболеваний, переломов, например с помощью компьютерной томографии (КТ), которая использует рентгеновские лучи для создания 3D-изображения внутренних органов и тканей. Распознавание изображений в КТ позволяет более точно и быстро определять расположение переломов и опухолей.

В рамках работы были проанализированы основные методы машинного обучения для решения задачи распознавания изображений, в частности более подробно сверточные нейронные сети (CNN) [1]. Рассмотрено семейство сверточных нейронных сетей Efficient Net V2 [2] и его преимущество перед другими CNN и Vision Transformers.

Для решения задачи была выбрана модель CNN, обученная на наборе данных КТ, представленном радиологическим обществом Северной Америки (RSNA) и состоящем из 2019 сканирований пациентов, в среднем от 200 до 600 вертикальных срезов (слайсов) позвонков на одного человека, в сумме около 700 тыс. изображений позвонков. Модель состоит из входного слоя, принимающего изображения размером (384, 384), слоев модели EfficientNet_V2_M, последний слой которой — это линейный слой (1280,). Затем этот слой преобразуется в 2 параллельных (7,) линейных слоя, за которыми следует функция активации sigmoid. На основе данной модели разработана система для определения вероятности перелома для каждого из 7-ми позвонков и вероятности перелома у пациента в целом.

В ходе работы была достигнута точность классификации слайсов в 95.7% и выявления наличия перелома у пациента в 90%. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что полученная система может быть адаптирована в качестве рекомендательной системы в помощь врачам, чтобы быстрее определять места переломов и оказывать медицинскую помощь пострадавшему человеку.

Литература

1. **Гудфеллоу, Я.** Глубокое обучение / Ян Гудфеллоу, Иошуа Бенджио, Аарон Курвилль ; [пер. с англ. А. А. Слинкина]. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 651 с.
2. **arxiv.org: EfficientNetV2: Smaller Models and Faster Training: [сайт].** — 2021. — URL: <https://arxiv.org/pdf/2104.00298.pdf> (дата обращения: 23.03.2023). — Режим доступа: общий. — Текст: электронный.

Ю.А. Гуляева, студ.; рук. А.В. Кожевников, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

На сегодняшний день высокая потребность компаний в управлении бизнес-моделями порождает необходимость тщательного описания процесса и проведения качественного тестирования с целью устранения недочетов в специализированных BPM-системах [1].

Целью работы является сравнение эффективности и производительности наиболее распространенных на сегодняшний день программных платформ BPM-систем.

В ходе работы было выполнено развертывание BPM-фреймворков Activity [2] и Camunda [3], являющейся ответвлением от Activity с активным развитием и высокой оптимизацией, спроектированы и реализованы показательные процессы, проведен сравнительный анализ как общего времени выполнения бизнес-процессов, так и среднего времени выполнения различных элементов. Запуск локальных серверов осуществлялся с помощью модуля Spring Boot с использованием языка Java. В качестве моделируемых процессов были выбраны алгоритмы сортировки одномерных массивов методом вставки и быстрой сортировки. В качестве языка описания использовался один из наиболее распространенных стандартов — BPMN. Вся информация о выполнении процесса логировалась в базу данных H2.

В результате были сделаны выводы, что сравниваемые системы автоматизации одинаково обрабатывают идентичные бизнес-процессы и могут применяться для их надежной реализации. Однако архитектура кода в Camunda лучше разбивает выполнение на транзакции и предотвращает переполнение стека вызовов, что позволяет ей выполнять сервисные задачи быстрее в 1.5 раза относительно Activity. В то же время Activity выполняет скриптовые задачи в среднем в 2 раза быстрее относительно Camunda. На основе этих результатов можно сделать вывод, что при выборе BPM-системы необходимо также учитывать характер выполняемых задач.

Литература

1. **И.Г. Фёдоров.** Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN2.0. М.: Монография, 2013.
2. **Activiti User Guide** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activiti.org/userguide/index.html> (дата обращения 21.02.2023).
3. **The Camunda Platform 7 Manual** [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.camunda.org/manual/7.20/introduction/> (дата обращения 07.12.2022).

П.Э. Машенок, студ.; рук. А.О. Щирый, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ ГРАНИЦ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ИОНОГРАММ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

По данным радиозондирования ионосферы коротковолновыми сигналами (КВ) можно получить информацию о процессах в ионосферной плазме; эти данные также крайне важны для радиотехнических систем КВ диапазона. Наиболее информативными видами радиозондирования являются наклонное зондирование (НЗ) и вертикальное зондирование (ВЗ). Ионограмма НЗ представляет собой трехмерное изображение зависимости амплитуды принятого сигнала от рабочей частоты и времени группового запаздывания, а ионограмма ВЗ — зависимости амплитуды радиосигнала от частоты и высоты отражения [1]. К настоящему моменту накоплен большой объем экспериментальных данных для различных гео- и гелиофизических, пространственных и временных условий [2]. Однако, некоторые архивы предоставляют данные только в виде изображений ионограмм, содержащих массу «лишней» информации. Целью работы является автоматическая обработка таких изображений ионограмм. И первой задачей, которую необходимо решить для этого, является выделение границ информационного поля. Задача решается посредством методов библиотеки OpenCV. Основные этапы алгоритма: 1. Бинаризация изображения (значения пикселей контуров равны единице, а фона — нулю); 2. Поиск всех контуров, здесь получаем аппроксимирующие прямоугольные области контуров; 3. Выбор наибольшего прямоугольника, являющегося искомым информационным полем ионограммы. Для уточнения левой границы прямоугольника (устранения срабатывания по крайним штрихам координатных осей) следует сдвигать вправо левую верхнюю координату до тех пор, пока множество вертикальных точек не совпадет с множеством точек правой стороны прямоугольника; аналогично поступаем для другой координатной оси. Задачей дальнейших работ является распознавание надписей на координатных осях, а также других надписей, для автоматического восстановления метаданных.

Литература

1. **Щирый А.О.** Развитие средств автоматизации наземного радиозондирования ионосферы // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2014. Т. 14. № 5. с. 170–173.
2. **Щирый А.О., Писаренко А.А.** Интернет-ресурсы со свободным доступом к данным вертикального радиозондирования ионосферы — перспективы и проблемы их использования // *Научный сервис в сети Интернет: Тр. XXV Всерос.научн.конф. М.: ИПМ им. Келдыша, 2023. с. 378–384.*

М.И. Ефремов, студ.; рук. А.О. Щирий, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЗАГРУЗКА И ПРЕДОБРАБОТКА ФАЙЛОВ ИОНОГРАММ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ФОРМАТА МММ (MODIFIED MAXIMUM METHOD)

Исследования ионосферы необходимы как для научных целей (разработка моделей геофизических процессов), так и для практических (определение возможности передачи радиоволны через ионосферу и навигации) [1]. Одним из методов исследования ионосферы является вертикальное зондирование (ВЗ) коротковолновыми (КВ) радиосигналами. В мире накоплено большое количество данных ВЗ, что открывает возможности применения методов машинного обучения [2] для их автоматической обработки. Одним из наиболее широко применяемых форматов ионограмм ВЗ, архивы которых доступны в Интернете, является МММ (modified maximum method). МММ файлы создаются ВЗ-ионозондами DPS (Digisonde Portable Sounder). Ионозонды DPS являются одними из самых применяемых в мире, наряду с CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) и австралийскими IPS (Ionospheric Predictions Service).

Файл МММ состоит из блоков по 4096 байт, где каждый блок содержит заголовок и данные. Данные включают 30 групп, каждая из которых содержит т.н. прелюдию и серию байтов точек данных, представляющих А-сканирования с амплитудами и номерами каналов. Хотя этот формат и задокументирован, не во всем его описание соответствует реальным данным, в связи с чем его анализ и предобработка вызвали затруднения. Например, МРА (наиболее вероятная амплитуда) не хранится в данном формате (хотя должна согласно документации), а она необходима для отбрасывания шумовых точек ионограмм. Также возникли неясности по измеренным значениям Допплеровских смещений частот.

В итоге разработана программа для загрузки и предобработки файлов ионограмм ВЗ формата МММ. Задачами дальнейших исследований является применение методов машинного обучения к большим массивам данных ВЗ с целью выделения треков мод распространения КВ, а в дальнейшем — построения предиктивных статистических моделей.

Литература

1. **Щирий А.О.** Развитие средств автоматизации наземного радиозондирования ионосферы // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2014. Т. 14. № 5. с. 170–173.
2. **А. Grachev, A. Shiriy.** Clustering techniques versus binary thresholding for detection of signal tracks in ionograms // *SCAKD 2016 — Proceedings of the Second International Workshop on Soft Computing Applications and Knowledge Discovery*. Vol.1687. CEUR Workshop Proceedings, 2016. pp. 87–92.

Е.А. Сапрыкин, студ.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ DATA MINING ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ДОБРОВОЛЬНОГО УВОЛЬНЕНИЯ СОТРУДНИКОВ ИЗ КОМПАНИИ

Современные потребности развития экономики диктуют правила ведения бизнеса. Вполне очевидно, что эффективное функционирование любой организации трудно представить без такого стратегически важного ресурса, как персонал, трудовая активность, стабильность, лояльность и профессиональный опыт которого позволяют обеспечить успешную деятельность и высокий уровень работоспособности [1].

Целью данного исследования является изучение и применение классических методов классификации в области Data Mining на основе анализа характеристик сотрудников таких как образование, уровень оплаты труда, время работы в компании, трудовой стаж, возраст и пол. Классификация выбора нужна для того, чтобы понять какие ценные кадры могут покинуть компанию, что может привести к снижению её эффективности. Особое внимание уделяется разработке и реализации алгоритмов классификации, основанных на методах Random Forest, Gradient Boosting, нейронных сетей и Voting Classifier [2, 3].

Исследование включает в себя анализ результатов, полученных при применении различных методов Data Mining. Производится сравнительный анализ точности методов с целью выявления наилучшего подхода к решению задачи классификации добровольного увольнения сотрудников. Это позволяет определить, какие ключевые факторы оказывают влияние на решение сотрудников покинуть компанию.

В результате исследования разработана специализированная программа классификации, которая позволяет оперативно выявлять потенциальных сотрудников, готовых к увольнению. Эта программа, учитывая результаты указанных методов на основе тестовой выборки, выбирает наиболее точный из них и делает вывод касательно сотрудника. Программа позволит своевременно предпринимать действия, направленные на улучшение условий труда и предотвращение потери ценных сотрудников.

Литература

1. **Майстренко Г.А., Майстренко А.Г.** Некоторые аспекты кадровой стабильности компании как критерия ее эффективности.
2. **Грас Д.,** Data Science. Наука о данных с нуля: Пер. с англ. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2021. — 416 с.: ил.
3. **Маккини У.,** Python и анализ данных 2-е изд. М.: ДМК Пресс, 2020. — 540 с.: ил.

С.А. Задорин, асп.; рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C, RUST И ZIG НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИЗ ЦОС

Си — это компилируемый язык программирования со строгой статической типизацией данных, разработанный в 1969-1973 годах Деннисом Ритчи в Bell Labs. В наши дни Си в основном используется для программирования встраиваемых систем и для разработки на уровне ядра операционных систем [1].

В 2015 и 2016 годах появились Zig и Rust — языки программирования, предназначенные в основном для системного программирования и embedded-разработки, которых от Си отличает [2, 3]:

1. Переботанный синтаксис и расширенная система типов;
2. Типобезопасность: компиляторы Rust и Zig ещё на этапе создания исполняемого файла стремятся не допустить неопределённого поведения программы;
3. Включение новых парадигм программирования (функциональное и конкурентное программирование) путем внедрения функций высшего порядка и *асync/await*-параллелизма. В Rust также реализованы λ -функции;
4. Встроенная интеграция новых технологий, таких как WebAssembly.

В данной работе проведено сравнительное тестирование языков Си, Rust и Zig на примере вычисления быстрого преобразования Фурье, свертки сигналов, преобразований Лапласа и Гильберта — широко используемых алгоритмов в области цифровой обработки сигналов (ЦОС) [4].

Результаты тестов показали сопоставимую производительность кода, написанного на вышеобозначенных языках программирования, с незначительным преимуществом (около 1% по времени выполнения) за Zig.

Литература

1. **Prinz P., Crawford T.** C in a Nutshell, Second Edition — 2015. — O'Reilly Media, Inc. — 826 p. — ISBN 978-1-491-90475-6.
2. **Блэнди Дж., Оендорф Дж.** Программирование на языке Rust / пер. с англ. А.А. Слинкина. — М.: ДМК Пресс, 2018. — 550 с. — ISBN 978-5-97060-236-2.
3. Подробный обзор Zig Programming Language [Электронный ресурс] // <https://ziglang.org/ru/learn/overview> (дата обращения: 28.05.2023).
4. **Лайонс Р.** Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. — М: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. — 656 с. — ISBN 5-9518-0149-4.

А.А. Зуев, аспирант; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ГЕНЕРАЦИИ БЛОЧНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Одной из сфер применения современных параллельных вычислительных систем является моделирование сложных физических процессов, что часто требуется в различных отраслях промышленности. Данные задачи как правило решаются методом конечных элементов или, как в случае задач газовой динамики, методом конечных объемов. Оба способа требуют предварительной генерации расчетных сеток или нескольких их наборов.

Для решения описанных выше задач разработано множество способов построения расчетных сеток. Существуют алгебраические методы, основанные на отображении расчетной области на один или несколько n -мерных кубов [1]. Данные методы удобно применять для построения структурированных сеток. Для построения неструктурированных сеток применяется триангуляция Делоне, а также фронтальный подход [1].

Практическое использование указанных методов требует, чтобы расчетная область соответствовала достаточно сложной геометрии исследуемого объекта. Другим встречающимся требованием является необходимость изменять шаг сетки, что, например, требуется для моделирования задач обтекания корпусов летательных аппаратов, в частности при расчете пристеночных течений газа.

Как следствие, в отрасли компьютерного моделирования получили распространение блочно-структурированные сетки, позволяющие упростить реализацию соответствующих программных комплексов по решению тех или иных систем уравнений, при этом сохраняя возможность для контроля над параметрами сетки и геометрией расчетной области.

В докладе представлен созданный программный модуль для ОС семейства Linux, реализующий разработанный алгоритм генерации блочно-структурированных сеток на основе заданной пользователем постановки задачи. Приводится описание используемых структур данных, особенности и детали реализации на языке C++ с применением технологии OpenMP для ускорения выполнения на многоядерных архитектурах.

Литература

1. **Лисейкин В.Д.** Разностные сетки. Теория и приложения. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 254 с. — ISBN 978-5-7692-1364-9.
2. **Хайнеман Д., Поллис Г., Селков С.** Алгоритмы. Справочник с примерами на C, C++, Java и Python. — 2е изд. — СПб.: ООО "Диалектика", 2019. — 432 с.: ил.

С.М. Тимченко, студ.; рук. Н.П. Алексеев (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К ОБОРУДОВАНИЮ В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время для решения различных производственных задач в компании сотрудники, а именно программисты и тестировщики, используют стенды с контроллерами СКУД. Проприетарные протоколы взаимодействия с данными контроллерами не поддерживают одновременную работу двух и более пользователей, к тому же существуют способы изменения сетевых и не только настроек без уведомления уже работающего со стендом сотрудника. В связи с этим, часто возникают проблемы поиска в сети свободного стенда для выполнения должностных обязанностей, а также подключения к оборудованию, уже занятому другими сотрудниками. Традиционные методы ручного отслеживания подключений малоэффективны, подвержены ошибкам и отнимают много времени.

В работе предложен подход для реализации интеллектуального web приложения для учета и распределения доступа к оборудованию в локальной сети. В работе рассматриваются различные аспекты проблемы управления доступом, включая выбор программного обеспечения для реализации web приложения разработку модели решения и программную реализацию. Один из способов реализации системы — выделение подсети маршрутизатора, который поддерживает REST API (например, MikroTik [1]), для стендов с единственным правилом в firewall типа Forward [2], отбрасывающим все сетевые пакеты между данной подсетью и подсетью пользователей локальной сети. Для подключения к оборудованию пользователь должен зайти на web-ресурс, содержащий информацию о доступном оборудовании, команды подключения, отключения и информацию о каждом видимом стенде. Команды управления формируют запрос по API к серверной части, которая, в свою очередь, формирует управляющие команды к API роутера для добавления «Allow» правил для трафика между IP компьютера пользователя и адресом стенда.

Литература

1. Mikrotik Rest API [Электронный ресурс]. — URL: <https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/REST+API> (дата обращения 15.11.2023)
2. Цепочка Forward в Firewall Mikrotik [Электронный ресурс]. — URL: <https://mikrotik-training.ru/kb/tseпочka-forward-v-firewall-mikrotik/> (дата обращения 15.11.2023)

А.С. Алексеев, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОС LINUX НА ОСНОВЕ ЗАПРОС-ОТВЕТНОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Современная деятельность программистов, разработчиков, инженеров, тесно связана с изучением больших массивов документов, описывающих те или иные средства программного обеспечения, для того чтобы в кратчайшие сроки решать поставленные задачи. Таким образом, актуальна задача создания вопрос-ответной системы, позволяющей в режиме диалога искать необходимую информацию. Одним из методов получения такой системы высокого качества является применение нейронных сетей, в частности, предобученных языковых моделей [1].

Для решения задачи используется настройка параметров и дообучение таких моделей (Fine tuning). В качестве такой модели будем использовать BERT (а точнее ее конфигурацию «bert-base-uncased»)

Fine tuning (тонкая настройка) моделей — это процесс адаптации или дообучения предварительно обученной модели на конкретном наборе данных (в данном случае набором данных является база справок по командам в терминале для системы linux). Данный корпус текстов на английском был получен из терминала MAC OS скриптом на Python и содержит информацию о тысячи команд. Словарь уникальных токенов составляет три тысячи слов.

В работе такая настройка проводилась посредством следующих основных этапов: выбор и загрузка предварительно обученной языковой модели BERT, подготовка набора данных, то есть выделение нужных абзацев, настройка модели, валидация. Дообучение модели подразумевает обновление параметров (весов) существующей модели на новых данных. Валидация модели — это процесс оценки производительности модели на отдельном наборе данных, который не использовался при обучении.

Анализ полученных результатов показывает, что применение вопросной-ответной системы позволяет эффективно справляться с задачей ускоренного поиска информации в технической литературе.

Литература

1. **Фостер Д.** Генеративное глубокое обучение. Творческий потенциал нейронных сетей / Д. Фостер. — Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2020. — СПб : Питер, 2020. — 336 с. — ISBN 978-5-4461-1566-2.
2. **Шолле Ф.** Глубокое обучение на Python. / Ф. Шолле. — Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2018. — СПб.: Питер, 2018. — 400 с. — ISBN 978-5-4461-0770-4.

Секция 14

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Computer engineering and CAD systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Топорков Виктор Васильевич

Секретарь секции: к.т.н., доцент Лешихина Ирина Евгеньевна

Е.И. Власова, студ.; рук. И.Н. Андреева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ХЕШИРОВАНИЯ ГОСТ 34.11-2018

Хеширование используется для решения проблем целостности и безопасности при хранении и передаче информации. Хеш-функции применяются в криптографии (защита паролей, ключей), в базах данных, ЭЦП и блокчейн-сетях.

На данный момент наиболее безопасными считаются международные стандарты SHA-2 и SHA-3 (рекомендуется переходить с SHA-2 на SHA-3), а также BLAKE2, который был разработан в качестве альтернативы SHA-3. Среди отечественных стандартов наиболее актуальным алгоритмом является ГОСТ 34.11-2018, который является конкурирующим с международными стандартами. Он обеспечивает высокую криптостойкость и высокую скорость [1].

Целью данной работы является изучение и программная реализация алгоритма хеширования ГОСТ 34.11-2018. Для достижения цели были рассмотрены преобразования, используемые в алгоритме [2], изучена функция сжатия и непосредственно алгоритм вычисления хеш-кода. Новизной работы является программной реализации и исследовании алгоритма ГОСТ 34.11-2018 на языке Java.

Вклад автора заключается в создании и использовании классов и структур данных, которые позволили хранить константы для каждого преобразования, реализовать функции сжатия и непосредственно вычисление хеш-кода.

В ходе тестирования программа была проверена на контрольных примерах из ГОСТа 34.11-2018 [2], где была замечена необходимость инвертирования блока данных (добавлена функция инвертирования массива байт). Полученная реализация сравнивалась по временному показателю с реализацией на Java, C# и C++. Данная реализация расширяет состав отечественного ПО в области защиты информации на основе криптографических методов.

Литература

1. **Антонова, А.** Стрибог-Streebog. — URL: <https://sert-service.ru/algorithm-gost-stribog/> (дата обращения: 27.09.2023)
2. **ГОСТ 34.11-2018.** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хеширования. — М.: Стандартинформ, 2018. — 23 с.

А.М. Черкашина, студ.;
рук. Г.А. Бородин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВЫХ 2D ФИГУР

Классификация объектов на изображениях является важной задачей компьютерного зрения, и для её решения применяются различные подходы. В данном анализе проводится сравнительное исследование двух из них: выделение контуров объектов на изображении и их анализ, и с использованием свёрточной нейронной сети, обученной на подготовленном наборе данных.

Выделение контуров является основным методом анализа изображений, позволяющим определить границы объектов на них. Для этой цели применяются различные методы, включая использование ядра Собеля. Учёт геометрических особенностей фигур позволяет оценить параметры объектов на изображении, такие как длины граней и величины углов.

Нейронные сети также являются распространённым подходом в классификации объектов на изображениях [1]. Для их эффективного обучения необходим большой и разнообразный набор данных, содержащий все возможные классы объектов для распознавания их типа. Кроме того, требуется высокая вычислительная мощность для быстрого обучения сети [2].

Проведённый анализ позволяет определить преимущества и недостатки обоих подходов в зависимости от доступных ресурсов, что может быть полезным при выборе подхода для решения задачи классификации типовых двумерных фигур.



Рис. 1. Пример тестового изображения

Литература

1. **Шолле, Ф.** Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. — Санкт-Петербург: Питер, 2018. — 400 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-496-03086-6.
2. **Бурков, А.** Машинное обучение без лишних слов / А. Бурков. — Санкт-Петербург: Питер, 2020. — 192 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-4461-1560-0.

Е.А. Пензина, студ.; рук. И.Н. Андреева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ЭЦП

С развитием информационных технологий возникла потребность в безопасной передаче данных. На сегодняшний день существует множество методов для выполнения всех важнейших пунктов по защите информации, и их можно разделить на два вида, имеющих разные цели: шифрование данных и электронная цифровая подпись (ЭЦП).

Актуальность работы обусловлена необходимостью защиты ресурсов любого уровня секретности, а именно: предотвращение утечки информации, проверка подлинность передающего лица, обеспечение неизменности данных на всем пути передачи [1].

На основе проведенных исследований алгоритмов шифрования и ЭЦП была поставлена цель данной работы — изучить и программно реализовать российский стандарт формирования и верификации ЭЦП — ГОСТ 34.10-2012 [2].

Для внесения личного вклада в разработку отечественного программного обеспечения было решено реализовать алгоритм на языке программирования C++ с использованием библиотеки NTL, которая имеет функции, работающие с модульной арифметикой больших чисел.

Разработанное приложение было исследовано на корректность тестирования функционала, а также показало хорошие результаты по временным затратам при сравнительном анализе на компьютерах с разными процессорами и объемом памяти. Созданная реализация российского стандарта формирования и верификации ЭЦП является новым решением и была сравнена с существующей разработкой алгоритма на языке программирования C#.

Полученные результаты открывают перспективы для расширения возможностей отечественного программного обеспечения в области информационной безопасности при создании подписи под электронным документом.

Литература

1. **Шаньгин В.Ф.** Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учебное пособие / В.Ф. Шаньгин. — М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. — 416 с.
2. **ГОСТ Р 34.10-2012.** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи. — Москва: Стандартинформ, 2012. — 29 с.

П.А. Михайлов, студ.;
рук. Г.А. Бородин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДАННЫХ ОТ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАНКА

Потоковая обработка [1] — это обработка данных в движении, или, другими словами, вычисления на основе данных непосредственно по мере их создания или получения. Большое количество данных генерируется в виде непрерывных потоков: события с датчиков, активность пользователей на веб-сайте, финансовые сделки и так далее — все эти данные создаются как последовательность событий с течением времени.

До потоковой обработки данные обрабатывались пакетным способом, то есть сначала собиралась некая партиция данных и обработка производилась в определенный момент времени, но у этого способа есть множество проблем: 1) неактуальность данных, 2) большие риски при сбоях, 3) ограниченная масштабируемость.

Потоковая обработка может использоваться в разных случаях, в частности предлагаемое приложение обрабатывает разного рода информацию от ЦБ, например, ломбардные списки, ценные бумаги или индексы. Само приложение представляет из себя некий Enricher. На рисунке 1 представлена примерная схема его работы.

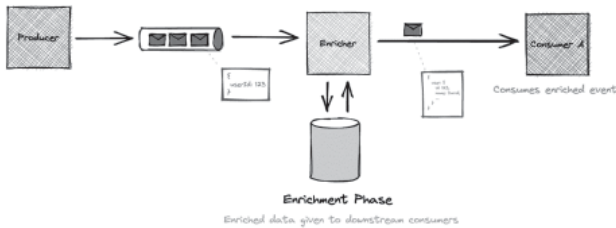


Рис. 1. Схема работы Enricher'a

Приложение разрабатывается для обработки сообщений формата JSON, поступающих от брокера сообщений IBM MQ. Основной процесс преобразования поступающих пакетов данных пишется на языке программирования Java с использованием стандартного программного обеспечения для рассылки сообщений JMS (Java Message Service) и современного фреймворка Spring Boot. Для обеспечения надёжности информации производится преобразование исходных данных в формат AVRO, который позволяет добавить проверку полученных данных с определенной схемой.

Литература

1. Потоковая обработка данных. Конвейер реального времени / авт. Дж. Пселтис Эндрю. — [б.м.]: ДМК-Пресс, 2018. — 218 с.

В.А. Матвеева, студ.; рук. Г.А. Бородин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНЫХ ТИПОВ ORACLE ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Головокружение входит в пять самых частых жалоб, с которыми пациенты обращаются на приемах врачей разных специальностей. Вместе с тем, оно не является отдельным заболеванием, а всего лишь симптомом совершенно разных болезней [1], включающих патологию внутреннего уха, вестибулярного нерва, центров в головном мозге и нарушения чувствительности. В настоящее время разработано приложение, интегрирующее результаты отоневрологических тестов с использованием очков Френзеля [2] для отоневрологического приёма.

Для повышения точности и сокращения времени диагностики недуга крайне важно использовать программные средства для обеспечения автоматизации работы врача, обследующего пациента с головокружением. В связи с этим, целью данной работы является создание программной математической модели, позволяющей автоматически с помощью искусственного интеллекта (ИИ), готовить предварительный диагноз на основе жалоб и анамнеза данных обследования пациентов, опираясь на международные критерии вестибулярных расстройств общества Барани.

Для реализации поставленной задачи, после консультации со специалистами были подготовлены критерии диагностики, выполнение которых обосновывает выбор диагноза. В базе данных хранится следующая информация: сведения о пациенте, приёме, осмотре, проведённых инструментальных обследованиях и заключение. Для корректной работы алгоритма созданы необходимые функции в СУБД Oracle XE [3, 4], представляющие признаки и результаты выполнения тестов в виде набора числовых данных. Для этого был использован объектный тип данных и разработан для него метод преобразования признаков. На основе предложенных записей прошедших приёмов выполнено информативное заполнение базы данных для дальнейшего обучения и тестирования нейронной сети. Для проверки возможностей алгоритма подготовлена программа тестирования.

Литература

1. Диагностика системного головокружения в амбулаторной практике. / Замерград, М.В. и др. — М.: Неврологический журнал. 2014. — Т. 19 № 2 — С. 23–29.
2. Отоневрологическое обследование пациента с головокружением. / Пальчун, В.Т. и др. — М.: Вестник оториноларингологии., 2015. — Т. 80 № 5 С. 60–66.
3. **Фейерштейн, С., Прибыл, Б.** Oracle PL/SQL. Для профессионалов. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1024 с.
4. **Мурах, Д.** Секреты Oracle SQL. — Пер. с англ. — СПб.: Символ — Плюс, 2003. — 268 с.

А.М. Руденко, студ.; рук. Г.А. Бородин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Изображение, регистрируемое на цветную фотокамеру, имеет обычно три канала, которые позволяют воспроизводить любой оттенок — красный, зелёный и синий, остальные получаются из их сочетаний. Но на самом деле цвет — это электромагнитные волны, и диапазон волн регистрируемый цветной камерой, довольно узок: от 400 до 750 нм. Поэтому часть информации теряется, и иногда трудно определить, например, является ли предмет настоящим или это муляж, сделанный из высококачественных материалов. В свою очередь, использование гиперспектральных систем позволяет устранить недостаток информации.

При гиперспектральной съёмке создаётся множество изображений в разных каналах — как в видимом спектре, так и в инфракрасном. Для каждого пикселя изображения гиперспектральная камера фиксирует интенсивность света (яркость) для большого количества (от нескольких десятков до нескольких сотен) смежных спектральных каналов. Таким образом, каждый пиксель изображения содержит спектр (яркости или отражения) и может использоваться для характеристики объектов сцены с высокой точностью и детализацией [1]. Поэтому, получается не одно изображение, а множество, каждое из которых позволяет создать своё собственное отображение объекта, такое же уникальное как, например, отпечаток пальцев. Эта техника съёмки уже широко применяется в сельском хозяйстве, лесоохране, строительстве и экологическом мониторинге (качества внутренних вод, загрязнения).

Целью работы является программная реализация автоматической обработки гиперспектральных данных. В качестве объекта исследования выступает семенной материал разных сортов и культур растений. Обработка изображений включает в себя, в том числе использование нейросетевых технологий для получения маски каждого зерна, и сбор дополнительной информации — количество пикселей в зерне, спектр и некоторые другие характеристики для пополнения базы данных с целью последующей работы с ними и выявления некачественных зёрен.

Литература

1. Гиперспектральная визуализация. Что это и где применяется? // ЛИС: сайт. URL: <https://lenlasers.ru/novosti-i-stati/giperspektralnaya-vizualizatsiya-chto-eto-i-gde-rimen-yaetsya/?ysclid=lobce9wfc7487429203> (дата обращения 27.10.2023).

А.Д. Семенова, соиск.;
рук. В.А. Логинов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКООРДИНАТНЫМ УСТРОЙСТВОМ СКАНИРОВАНИЯ

На Международной космической станции (МКС) планируется проведение эксперимента по передаче электроэнергии при помощи лазера. Одной из частей эксперимента является проверка работоспособности системы наведения пучка мощного лазерного излучения на приемник лазерного излучения, отработка элементов системы наведения и ее алгоритмов работы. На приемнике лазерного излучения располагается специальная мишень — блок мишени, обеспечивающая возможность решения задач по поиску и сопровождению приемника лазерного излучения. В ходе эксперимента предполагается использовать МКС для размещения системы наведения, а также транспортный космический аппарат для размещения блока мишени.

Объектами исследования являются устройство сканирования и модуль управления. Устройство сканирования представляет собой двухосевой механизм сканирования с зеркалом в карданном подвесе. Отклонение зеркала по каждой оси осуществляется моментным электродвигателем, установленным на соответствующем валу механизма. Обмотки двигателей подключены к усилителю [1]. Управление усилителем осуществляет модуль управления по сигналам датчика угла. Угловое положение зеркала по каждой оси определяется в модуле управления по координатам меток, формируемым датчиком угла, установленным на соответствующем валу устройства сканирования. По сигналам датчика угла модуль управления формирует ШИМ-сигнал управления электроприводом.

Целью работы является реализация алгоритма расчета коэффициентов ШИМ-сигнала управления двигателем привода на языке программирования, который поддерживается микросхемой модуля управления [2]. Кроме того, осуществляется проверка работоспособности алгоритма на имитационной модели, разработанной при помощи пакета MATLAB Simulink.

Литература

1. **Кенио Т.** Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.
2. **Копылов И.П.** Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с.

О.Н. Марчук, асп.; рук. В.А. Логинов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА JPDA ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЦЕЛИ

Основные положения и методы автоматизации процесса радиолокационного наблюдения были заложены во второй половине XX века. С развитием вычислительных технологий появилась тенденция к использованию более продвинутых методов, среди которых можно выделить методы линейного программирования, многогипотезные и вероятностные алгоритмы, а также нейросетевые вычисления.

Ключевым этапом радиолокационного наблюдения является отождествление вновь полученных измерений с заранее обнаруженными целями. Наиболее трудный случай решения этой задачи — отождествление измерений для группы маневрирующих близкорасположенных объектов [1]. Одним из наиболее оптимальных с точки зрения баланса затрачиваемых машинных ресурсов и качества работы методов для решения данной задачи считается байесовский метод совместного вероятностного отождествления данных — JPDA [2]. При этом для применения в конкретных системах РЛС он нуждается в серьезной адаптации.

В ходе работы был реализован алгоритм вероятностного совместного отождествления JPDA, произведена его адаптация к параметрам целевой РЛС. Также произведено тестирование реализованного алгоритма, в ходе которого обозначены его достоинства и недостатки, предложены модификации алгоритма для устранения выделенных недостатков.

Литература

1. **Коновалов, А.А.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. / А.А. Коновалов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. — Ч. 1. — 164 с.
2. **Bar-Shalom, Y., Daum F., Huang J.** The probabilistic data association filter // IEEE Control Systems Magazine — 2009. — Vol. 29, No. 6, P. 82–100.

*С.В. Петров, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.
(ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова» г. Чебоксары)*

ЭТАПЫ АНАЛИЗА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В ЦЕЛЯХ ПРОГРАММНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для целей автоматизированного синтеза объектно-ориентированной программной модели предметной области необходимо провести её анализ. Предметной областью могут быть технические требования, техническое задание или любое текстовое техническое описание компонента электротехнического комплекса, технологического или физического процесса.

Результатом анализа предметной области является формализованное описание множества уникальных абстрактных сущностей. Сущности состоят из наборов атрибутов; имеют определённое уникальное поведение; имеют связи между собой [1].

Задача анализа предметной области разбивается на последовательные этапы. Результат выполнения каждого этапа является основой для следующего этапа.

Первый этап. Выявление всех сущностей, составляющих предметную область в соответствии с ООП [1].

Второй этап. Выявление поведения найденных на первом этапе сущностей, т.е. определение интерфейсов будущих программных моделей в соответствии с требованиями к функциям программных модулей [1].

Третий этап. Выявление общих свойств найденных на первом этапе сущностей. Синтез общих, т.е. базовых сущностей [2, 1].

Четвёртый этап. Определение состава сущностей — их атрибуты, отражающие их состояние в соответствии с требованиями к атрибутам программных моделей [3].

Пятый этап. Интеграция сущностей, выявленных на предыдущих этапах и итоговый синтез программной модели предметной области [3, 2].

Результатом автоматизированного синтеза программной модели предметной области является архитектурная основа программного кода для дальнейшей разработки программного обеспечения устройств.

Литература

1. **Weisfeld Matt A.** The object-oriented thought process / Matt Weisfeld. — 3rd ed. — Printed in the United States of America, 2008. — 347 p.
2. **Галанина Н.А., Петров С.В.** Свойства и требования к функциям программных моделей электроэнергетических объектов, реализованных по МЭК 61850. Информатика и вычислительная техника: сб. науч. тр. : Чуваш. Гос. Ун-т им. И.Н. Ульянова. — Чебоксары, 2023. с. 187–194.
3. **Галанина Н.А., Петров С.В.** Требования и свойства атрибутов объектных моделей, спроектированных с применением ООП. Материалы VI Междунар. науч.-тех. конф.: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. с. 51–56.

*Р.А. Максимов, студ.;
рук. В.А. Краюшкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ANDROID-УСТРОЙСТВ В КОНТЕКСТЕ ОБЩЕГО ПРОСТРАНСТВА

В настоящее время наблюдается рост интереса к разработкам приложений дополненной реальности (ДР) для решения задач производства и сопровождения в рамках концепции промышленного интернета вещей [1] для обучения и удаленного экспертного сервисного обслуживания. Для перспективных задач требуются совместно исполняемые ДР-приложения, в которых ДР-контент был бы виден для нескольких пользователей, при этом каждый работал бы со своим индивидуальным устройством ДР (Android-смартфон, планшет). Для такой одновременной визуализации ДР-контента необходимо в базовой среде Unity 3D вместо «классической» разработки приложения ДР решить задачи синхронизации сценариев для двух и более устройств ДР, решить проблемы сетевого взаимодействия с учетом пространственного расположения пользователей и их перемещений.

В ходе выполнения НИР были разработаны методы организации, передачи и синхронизации параметров объектов ДР на основе модели хост-клиент, где один из пользователей (хост) решает задачу сетевой синхронизации с другими пользователями (клиентами). Подтверждением правильности выбранного подхода является разработанный пример динамического взаимодействия при выполнении действий с ДР-контентом одним пользователем и контролем происходящего в контексте дополненной реальности другим пользователем. В качестве среды для разработки ДР-приложения служил движок Unity. Для синхронизации ДР-устройств пользователей (Android) со средой Unity использовалась связка плагинов ARFoundation — ARCore — Microsoft Reality Toolkit. Для синхронизации сред Unity на разных устройствах использовалось сетевое подключение через плагин Unity Netcode for GameObjects, синхронизация общих переменных внутри сети была решена за счет вызова процедур реального времени (RPC).

Литература

1. Краюшкин В.А., Лешихина И.Е., Пирогова М.А. Обзор применимости популярных платформ дополненной реальности для задач современного дискретного производства // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. № 1. С. 3–7.

А.Р. Масев, студ.; рук. Н.А. Лоншаков, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО СТЕНДА

При гидравлическом расчете сетей АЭС возникают проблемы при определении коэффициентов местных сопротивлений в зависимости от расхода энергоносителя. Не все коэффициенты местных сопротивлений можно найти в справочнике [1]. Для определения зависимости коэффициентов местных сопротивлений от расхода был разработан виртуальный стенд с использованием 3D моделирования в пакете ANSYS Fluent. Для верификации работы предложенного виртуального стенда, был проведен анализ известного значения коэффициента местного сопротивления в справочнике [1]. Сравнение результата показало хорошую совместимость, с погрешностью менее 1% [Таблица, рисунок]. В результате из полученных данных были разработаны зависимости для 70 коэффициентов местного сопротивления от расхода, не представленных в справочнике [1].

Таблица:

Отношение Q_b/Q_c	Значение $\xi_{с.б.}$, Справочник	Значение $\xi_{с.б.}$, Виртуальный стенд	Погрешность, %
0,864	13,88	13,75	0,94

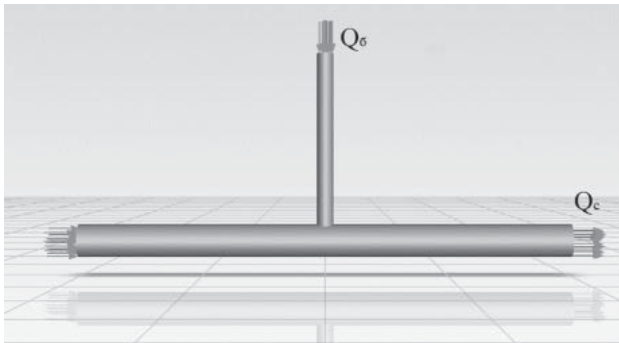


Рис. 1. Исследуемая модель

Литература

1. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям М.: Машиностроение, 1992

Д.П. Носач, асп.; рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Обучение машин — это стратегия анализа данных, направленная на автоматизацию создания аналитических моделей, опирающаяся на концепцию, что машины способны к обучению и приспособливанию к динамично меняющимся условиям [1]. Взаимосвязь машинного обучения с вычислительной статистикой подчеркивается способностью последней делать прогнозы, опираясь на статистические данные, полученные компьютером. Основная цель машинного обучения заключается в выявлении и использовании ключевых признаков для формирования моделей, адаптированных для решения задач, поставленных перед ними.

Решение задачи машинного обучения на основе нейронных сетей позволяет переложить большую часть задач приобретения новых знаний на самообучающуюся систему. Однако при таком подходе встаёт проблема представления данных в виде, понятном для вычислительной машины [2].

Целью работы является подготовка и структурирование данных для обучения нейросети для оптимизации работы распределённой телекоммуникационной сети, а также для выявления аномалий при экспертном оценивании и дальнейшей классификации данных для обучения.

Данная цель подразумевает решение ряда конкретных задач:

- представление архитектуры маршрутизации в виде графа;
- разметка данных с экспертом;
- предоставление размеченных данных в виде структурированного датасета с явными входными признаками;
- обучение нейронной сети и оценка полученной модели.

В исследовании уделяется внимание анализу влияния разметки данных на успешность обучения нейронной сети. Эти зависимости представляют собой ключевой аспект в оптимизации процесса обучения и в конечном итоге в повышении точности и обобщающей способности нейронной сети. Результаты данного анализа сыграют важную роль в формировании рекомендаций по оптимальным практикам подготовки данных для обучения нейронных сетей в контексте решаемых задач.

Литература

1. **Флах П.** Машинное обучение. ДМК Пресс. — 2015.
2. **Носач Д.П., Фомина М.В.** Исследование возможностей нейронных сетей по обучению на примере задачи моделирования движения транспортного средства // В сб. Труды Международного научно-технического конгресса «ИС & ИТ-2023», Научное издание в 2-х т. Т. 1. — Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2023, С. 19–24.

Секция 15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

Computing machines, networks, and systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Абросимов Леонид Иванович

Секретарь секции: к.т.н. Орлова Маргарита Андреевна

Д.А. Емельянов, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР СРЕДСТВ АВТОРИЗАЦИЯ В СЕРВИСЕ НА GOLANG

Проблема авторизации пользователей любого разрабатываемого сервиса, независимо от того, какие средства разработки применяются, стоит остро еще на начальных этапах разработки. Связано это, прежде всего, с безопасностью предоставляемых и охраняемых сервисом данных. Существует множество различных способов обеспечения авторизации пользователя, начиная от валидации по почте и паролю, что не является самым безопасным методом аутентификации, заканчивая авторизацией по токенам — как специальным ключам, по которым дается доступ к ресурсу, так и общепринятым стандартом — JWT токенами.

В данном докладе представлен способ решения проблемы авторизации и аутентификации, разработанный специально для портала сетевого трафика, который использует технологии JWT, а также непосредственно трафик самого пользователя, а также достоинства и недостатки других методов, проблемы, которые остались неразрешенными и дальнейшие исследования.

Литература

1. **А.А. Шелупанова, С.Л. Груздева, Ю.С. Нахаева.** Аутентификация. Теория и практика обеспечения доступа к информационным ресурсам. М.: Горячая линия — Телеком, 2009. С. 552.
2. **Смит Ричард Э.** Аутентификация: от паролей до открытых ключей. М.: Вильямс, 2002. С. 432.
3. **Apache Software Foundation.** Apache HTTP Server Documentation Version 2.5. М: 12th Media Services, 2016. С. 291.

*А.А. Кузьмин, студ.; К.К. Ермаков, асп.;
рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

БОТ ДЛЯ ПОМОЩИ В СЕРВИСНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Актуальность работы диктует ситуация на рынке информационных технологий. С каждым годом его пополняют новые программные продукты, с помощью которых возможно не только как-либо обрабатывать данные, но и обеспечивать безопасное и быстрое взаимодействие с пользователями в современной цифровой среде. Поэтому разработка Telegram бота остается актуальной задачей для организаций и разработчиков, которая увеличивает скорость обработки и распространения информации [1].

Благодаря разработкам НТЦЭ «Вектор», существует большое количество проектов, включая составные части электрической трансмиссии карьерного самосвала, требующие ведения актуальной технической документации каждого элемента, которую необходимо предоставить пользователю в удобном виде, а также обеспечить возможность сервисной поддержки и автоматическую обработку обратной связи [2]. Так как Telegram — один из популярнейших мессенджеров, то создание бота дает пользователям возможность использования электронной документации без необходимости в установке дополнительных приложений. Программный интерфейс (API) Telegram [3] открыт и доступен всем разработчикам, что и послужило основной причиной выбора данного сервиса в качестве площадки для разработки. К тому же, настраиваемый пользовательский интерфейс, систематизирует доступ к документации, увеличивая удобство и практичность.

Программное обеспечение (ПО) для работы бота, реализуется на собственном сервере компании, а в качестве языка разработки используется C++. Серверное ПО выполняет функции хранения и защиты данных пользователей, тех. документации. Реализует шифрование и контроль доступа. С целью эффективной и безопасной работы, бот предоставляет электронный ресурс только пользователям с подтвержденной регистрацией в системе. Проверку и подтверждение регистрационных данных осуществляет ответственный сотрудник. бот размещен на сервере и бесперебойно функционирует с июля 2023 года по настоящее время.

Литература

1. **Бушмелева К. Г.** Бот в помощь. Книга-практикум по созданию чат-ботов и автоматизации бизнеса: Издательские решения, 2022. — 106 с.
2. Разработки НТЦ Электропривода «Вектор» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://vectorgroup.ru/products>, свободный (дата обращения: 18.10.2023).
3. Telegram Bot API [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://core.telegram.org/bots/api>, свободный (дата обращения: 18.10.2023).

Н.Г. Бабак, асп.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЕЗЛИЧЕННЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Для развития своих сервисов у компаний возникает желание обрабатывать персональные данные пользователей, строить прогнозы на их основе. Из-за правовых ограничений и рисков понести репутационные потери данные в открытом виде нельзя обрабатывать и хранить в неспециализированных системах. Также в случае обработки данных в компаниях-партнёрах их необходимо передать по сети, что требует определённых соглашений и соответствующего уровня защиты. Решить, описанные выше проблемы, позволяет обезличивание данных.

Существующие системы обезличивания [1–2] обладают следующими недостатками:

- 1) используются узконаправленные подходы, где распознавание персональных данных реализовано вручную или на основе правил, решения ограничены применением в структурированных данных;
- 2) чаще всего обезличивание реализуется разрушающим способом, после чего такие данные невозможно использовать, например, в задачах машинного обучения;
- 3) отсутствует взаимосвязь между видами персональных данных и применяемым алгоритмом обезличивания.

Таким образом, эти недостатки приводят к тому, что обезличенные данные трудно или практически невозможно использовать, так как они теряют свою ценность. В частности, наиболее чувствительными являются задачи, связанные с машинным обучением и привлечением третьих лиц, недопущенных к персональным данным, например, перевод подрядчиками.

Для использования обезличенных данных необходимо обеспечить сохранение стилистических, семантических, лексических и морфологических особенностей текста. Выполнить данную задачу можно, реализовав автоматизированную систему синонимического обезличивания [3], которая обеспечивает сохранение ценности данных.

Литература

1. **Саксонов, Е.А.** Процедура обезличивания персональных данных / Е.А. Саксонов, Р.В. Шередин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2011. — № 3. — С. 1.
2. **Oleksy M., Ropiak N., Walkowiak T.** Automated anonymization of text documents in Polish. *Procedia Computer Science*. 2021; 192. P. 1323–1333.
3. **Патент на изобретение RU 2804747 C1.** Способ и система обезличивания конфиденциальных данных. Заявление № 2022132305, 09.12.2022; опубликовано 04.10.2023 / Бабак Н.Г., Белорыбкин Л.Ю., Теренин А.А., Шаброва А.И.; заявитель ПАО Сбербанк.

Н.А. Соколовский, студ.;
рук. ассист. Д.Г. Данилин (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СЕТЕЙ ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Используя наработки предыдущего поколения сеть 6G совершит мощный технологический рывок. Ключевыми аспектами сетей шестого поколения будут обеспечение высочайших скоростей передачи данных, низкая задержка и высокая энергоэффективность. Благодаря широкому спектру доступных частот терагерцовый диапазон предполагает высокие пропускные способности и позволит значительно повысить скорость передачи данных. В антенне с фотопроводящей линзой, питаемой высокодиэлектрической подложкой, фототоки ускоряются под воздействием внешнего напряжения, что приводит к излучению терагерцовых волн. Будущее беспроводных систем связи будет во внедрении новых форм сигналов и схем модуляции, которые будут удовлетворять различным требованиям, таким как низкая сложность обработки, высокая устойчивость к искажениям, эффективность использования спектра. Сетевая структура искусственного интеллекта в контексте шестого поколения представляет собой эволюцию беспроводных сетей, где она играет ключевую роль в совершенствовании, автоматизации и повышении эффективности функционирования сетей. Развитие канального кодирования в 6G включает в себя внедрение инновационных кодеров, включая более сложные и адаптивные коды с низкими задержками, предполагает эффективное преодоление изменений в канале и обеспечение высокой пропускной способности. Создание и развитие сетей шестого поколения — это не только технологическое достижение, но и ключ к созданию интеллектуального и глобального сообщества, катализатор для трансформаций, которые сформируют новую реальность.

Литература

1. **Wen Tong, Peiying Zhu.** 6G: The Next Horizon. From Connected People and Things to Connected Intelligence. — Cambridge University Press, 2021. — 490 pp.
2. **O. Yurduseven.** Wideband integrated lens antennas for terahertz deep space investigation. — Ph.D. dissertation, Delft University of Technology, 2016.
3. **L. Bariah, L. Mohjazi, S. Muhaidat et al.** A prospective look: Key enabling technologies, applications and open research topics in 6G networks. — Cornell University, 2020.
4. **Боронин П.Н., Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А., Петров В.И.** «Исследование терагерцовых сетей и систем связи и их приложений,» Юбилейная 70-я всероссийская научно-техническая конференция, посвященная дню радио, СПб., 2015.

Д.С. Молчанов, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

ЭФФЕКТИВНАЯ СЕРИАЛИЗАЦИЯ В БАЗУ ДАННЫХ КОРПУСОВ ДАННЫХ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ НЕПОСТОЯННЫЙ ФОРМАТ

Сериализация в базу данных является неотъемлемой частью анализа больших объемов информации. От скорости и оптимизации этого этапа зависит общая эффективность накопления и анализа данных.

Современные технологии предлагают большой выбор готовых решений для использования базы данных для хранения той или иной информации. Однако для конкретной задачи возникают специфические условия, которые накладывают ограничения на выбор и требуют отдельной реализации.

В рамках этой работы рассмотрены варианты использования как NoSQL [1–2], так и SQL [3] решений. При выборе базы данных ключевыми аспектами являлись необходимость универсального хранения корпусов данных с любым количеством столбцов (при условии использования определенного собирателя трафика), масштабируемость в перспективе и стек используемых технологий (язык программирования высокого уровня Go). В итоге разработан подход к сериализации трасс сетевого трафика, которые хранят в себе информацию о протоколах, которые использовались устройством во время сбора данных.

Литература

1. **Namiot D.E.** Time Series Databases // Program. Comput. Softw. — New York, 2022. — Vol. 48, № 7. — P. 413–423. Conference: XVII International Conference «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains» (DAMDID/RCDE'2015), Obninsk, Russia, 2015
2. **Команда Yandex Cloud.** NoSQL: виды, особенности и применение [Электронный ресурс] ООО «Яндекс.Облако» — 28.10.2022 Режим доступа: <https://cloud.yandex.ru/blog/posts/2022/10/nosql>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Конференции Олега Бунина (Онтико).** Time series данные в реляционной СУБД. Расширения TimescaleDB и PipelineDB для PostgreSQL [Электронный ресурс] Habr — 28.09.2019 Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/oleg-bunin/articles/464303/>, свободный. — Загл. с экрана.

Д.К. Ярчук, студ.;
рук. М.А. Орлова, к.т.н., доцент,
Л.И. Абросимов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ЗАДЕРЖЕК АУТЕНТИФИКАЦИИ

В настоящее время идентификация пользователей в беспроводных сетях согласно нормативным документам на 2023 год является обязательной. Идентификация пользователей проводится во время подключения к беспроводной сети и аутентификации. [1] Таким образом, аутентификация является обязательной в публичных беспроводных сетях.

Из-за бурного роста программного и аппаратного обеспечения появляются новые взломостойкие методы аутентификации со своими преимуществами и недостатками.

Аутентификация пользователей занимает определенное время, и это время может значительно отличаться для разных методов аутентификации. Например, для аутентификации с использованием метода EAP-TLS необходимо 12 этапов [2], для метода EAP-MSCHAPv2 — 22 этапа [3] и т.д. Однако отсутствуют средства для исследования, фиксации этапов аутентификации и их измерения. Поэтому необходимо разработать программное средство, с помощью которого можно провести исследование продолжительности аутентификации.

В данной работе сравниваются различные современные методы аутентификации, в беспроводной сети университета реализуется подходящий метод аутентификации, разрабатывается средство для исследования задержек аутентификации, сравниваются методы аутентификации с точки зрения задержек с использованием разработанного средства, а также предлагаются подходы сокращения задержек с возможным тестированием методов.

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 7 июля 2003 года № 126-ФЗ «О связи»
2. RFC 5216. The EAP-TLS Authentication Protocol. 2008. URL:<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5216> (дата обращения 27.10.2023).
3. RFC 2759. Microsoft PPP CHAP Extensions, Version 2. 2000. URL:<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2759> (дата обращения 27.10.2023).

А.В. Бровков, студ.;
рук. М.А. Орлова к.т.н., доцент,
В.О. Рыбинцев к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОКАНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

Сегодня из-за широкого распространения беспроводных сетей передачи данных возникает необходимость исследования характеристик радиоканалов для дальнейшего установления оптимальных параметров при которых необходимо начинать подключение между точками доступа при движении от одной точки доступа к другой, находящихся в естественной среде для передачи сигналов, то есть атмосфере Земли. Это возможно благодаря анализу характеристик радиоканалов, таких как, SINR и RSSI. Установление оптимальных параметров для подключения позволит создать непрерывную работу в беспроводной сети без потери информации.

RSSI — это значение мощности сигнала, поступающего на антенны устройства. Показатель RSSI измеряется в децибел-милливаттах (дБм) и означает мощность сигнала, принятого прибором. В современных сетях этот показатель не позволяет узнать качество сигнала, поскольку учитывает не только полезный сигнал, но также весь побочный сигнал в измеряемом диапазоне частот. Например, значение RSSI включает в себя сигнал соседних базовых станций, внутренние и внешние помехи, шумы.

SINR — отношение уровня полезного сигнала к уровню шума. Значение SINR измеряется в дБ. Положительное значение SINR означает, что полезного сигнала больше, чем шума.

В данной работе производится установка и настройка точек доступа в корпоративной сети МЭИ с дальнейшим анализом характеристик радиоканалов с учетом, перечисленных выше проблем. Производится установление оптимальных параметров для подключения от одной точки доступа к другой, при движении между ними, для минимизации потери времени и информации.

Литература

1. Уэнделл О. Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCENT/CCNA ICND1. 100-101 -: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. — 912 с.

И.А. Харин, асп.;
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
конс. Б.А. Логунов, к.т.н., нач. отдела (ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский)

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛАТТЕРА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОКРАЩЕНИЮ СРОКОВ РАБОТ

Тема доклада актуальна в связи необходимостью сокращения сроков создания конкурентных самолетов. В докладе впервые показана структура обобщенной модели исследований флаттера (Рис. 1), представляющая собой информационную систему с базой данных, которая обеспечивает процесс информационного поиска с целью выявить наиболее затратные по времени компоненты структуры и выдать рекомендации по снижению их уровня. При выполнении расчетных работ рекомендовано снизить затраты времени за счет внедрения базы данных, унификации форматов обмена, оптимизации по времени программы расчета аэродинамических сил [1] и организации локальной сети. При выполнении наземных частотных испытаний натурных конструкций рекомендовано сократить затраты времени за счет внедрения комбинации скоростного метода возбуждения колебаний в виде разверстки гармонической силы с традиционным медленным, но более точным методом пошагового возбуждения колебаний гармонической силой [2]. При проведении испытаний ДПМ в аэродинамических трубах рекомендовано обеспечить сокращение времени за счет организации передачи данных по сети Wi-Fi. Работа обсуждалась на семинаре в отделении аэроупругости ФАУ «ЦАГИ», где получила положительную оценку и рекомендацию на продолжение и внедрение.



Рис. 1. Структура обобщенной модели исследований флаттера

Литература

1. **Аэроупругость**. — М.: «ООО. «Иннов. машиностроение». 2019. 7 — 194 с.
2. **Ewins D.J. Modal Testing: Theory, Practice and Applications**. 2 ed. — Baldock, Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd., 2000. — 563 с.

О.П. Морозова, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАЗМЕЧЕННЫХ КОРПУСОВ ДАННЫХ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

В настоящее время ведется активная разработка методов классификации сетевого трафика высокой точности в современных вычислительных сетях [1]. Для обучения алгоритмов и валидации методов необходимы размеченные корпуса данных сетевого трафика (массив, хранящий заданное описание перехваченных пакетов). Существует связанная с этим проблема получения и обработки корпусов данных сетевого трафика [1–4]: во многих существующих базах данных корпусов в разметке пакетов отсутствует поле, определяющее приложение-источник или получатель пакета. Также большинство баз данных не обновлялись в течение последних 5 лет и не применимы для исследования трафика современных вычислительных сетей. В работах [3–5] отмечено, что отсутствуют инструменты для самостоятельного сбора размеченных корпусов данных сетевого трафика, отвечающих потребности автоматической разметки перехваченных пакетов с высокой точностью.

В докладе представлено приложение для перехвата трафика сетевых приложений и автоматической разметки корпусов данных сетевого трафика, его архитектура и принципы работы, приведены примеры результатов его работы.

Литература

1. **Jingjing Zhao, Xuyang Jing, Zheng Yan, Witold Pedrycz**, Network traffic classification for data fusion: A survey, *Information Fusion*, Volume 72, 2021, Pages 22–47, ISSN 1566-2535.
2. **Iglesias F. et al.** NTARC: A Data Model for the Systematic Review of Network Traffic Analysis Research // *Appl. Sci.* — MDPI, 2020. — Vol. 10, № 12. — P. 4307.
3. **Гетьман А.И., Иконникова М.К.** Обзор методов классификации сетевого трафика с использованием машинного обучения. *Труды ИСП РАН*, том 32, вып. 6, 2020 г., стр. 137–154. DOI: 10.15514/ISPRAS-2020-32(6)-11
4. **Деарт В.Ю., Маньков В.А., Краснова И.А.** Анализ перспективных подходов и исследований по классификации потоков трафика для поддержания QoS методами ML в SDN-сетях. *Вестник СибГУТИ*. 2021;(1):3–23.
5. **Papadogiannaki E., Ioannidis S.** A Survey on Encrypted Network Traffic Analysis Applications, Techniques, and Countermeasures // *ACM Comput. Surv.* — New York, 2021. — P. 394–429.

М.А. Гуркин, студ.; рук. В.Ю. Харитонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРОВ ИГРОКОВ НА ПОЛЕ

Распознавание номеров игроков на поле с помощью компьютерного зрения в видеотрансляциях спортивных матчей является активно развивающейся областью искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Эта технология может применяться для различных видов спорта, таких как футбол, баскетбол, регби и другие, для автоматического отслеживания и анализа движения игроков. Одним из основных подходов к распознаванию номеров игроков является использование моделей на основе нейронных сетей и глубокого обучения [1]. Для обучения таких моделей требуется большой набор данных, содержащий изображения игроков с различными номерами. Нейронная сеть обучается извлекать признаки из изображений и классифицировать номера игроков.

Процесс распознавания номеров включает в себя несколько ключевых шагов. Обработка изображений включает в себя фильтрацию, улучшение качества и другие методы, чтобы подготовить входные изображения для дальнейшего анализа. Сегментация изображений позволяет выделить области, где расположены номера игроков, и отделить их от остальной части изображения. Оптическое распознавание символов (OCR) используется для распознавания символов и цифр на изображениях номеров игроков, что позволяет преобразовать изображения номеров в текстовый формат для дальнейшей обработки. Методы машинного обучения, такие как нейронные сети и классификация, могут использоваться для обучения системы распознавания номеров на больших наборах данных [2]. Это помогает системе научиться распознавать различные стили и форматы номеров. Итоговая информация о номерах игроков может быть визуализирована на экране трансляции или передана в аналитические системы для отслеживания действий игроков, сбора статистической информации и других информационных целей.

Литература

1. **Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.** Structured Probabilistic Models for Deep Learning // Deep Learning. 2016.
2. **Prince J.D.** Computer Vision: Models, Learning, and Inference // Cambridge University Press. 2012.

Я.А. Комаров, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АРХИТЕКТУРА ПОРТАЛА ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАФИКА ПРИЛОЖЕНИЙ

В основе работы любого современного клиент-серверного приложения лежит строгая архитектура, описывающая ключевые объекты и связи между ними. Это необходимо для реализации логики корректной работы приложения, описанной в ТЗ в четком соответствии с дизайном [1].

Создание унифицированного пользовательского интерфейса для анализа трафика различного рода приложений подразумевает под собой разработку такой архитектуры. Последняя должна быть легко масштабируемой и открытой для добавления нового пользовательского функционала.

Портал посвящен анализу трафика и позволяет пользователю загружать данные для получения трасс трафика, скачивать таковые и просматривать уже имеющиеся на портале. Кроме того, портал предоставляет визуализацию данных и наглядный сравнительный анализ нескольких трасс.

На данный момент существует огромное множество возможных путей реализации такого вида портала, поэтому выбор одного конкретного подхода представляет собой нетривиальную задачу.

В докладе перечисляются объекты с определенном набором полей и методов с указанием конкретного функционала, который реализован при помощи данных объектов. А также описание всех связей между этими объектами с обоснованием выбора определенной связи в каждом конкретном случае [2].

Литература

1. **Brett McLaughlin**, “Business Logic, Part 1”. Building Java Enterprise Applications, Vol I: Architecture. O’Reilly and Associates. ISBN 0-596-00123-1.
2. **Michael J. Hernandez**, Database Design for Mere Mortals®: A Hands-on Guide to Relational Database Design, Third Edition Released February 2013 Publisher(s): Addison-Wesley Professional ISBN: 9780133122282.

С.И. Якименко, преп.,
А.С. Любенко студ. (МИЭМ НИУ ВШЭ, Москва)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И КЭШИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ

Информационно-ориентированные сети (ICN) за счет своей архитектуры снижают задержку и нагрузку на сеть. Несмотря на то, что на данном этапе в литературе уже представлено множество алгоритмов кэширования, всё еще отсутствуют реализации данной архитектуры на базе агентного моделирования.

Реализация линейной и древовидной топологии ICN с помощью программы AnyLogic представлена на рисунке 1.

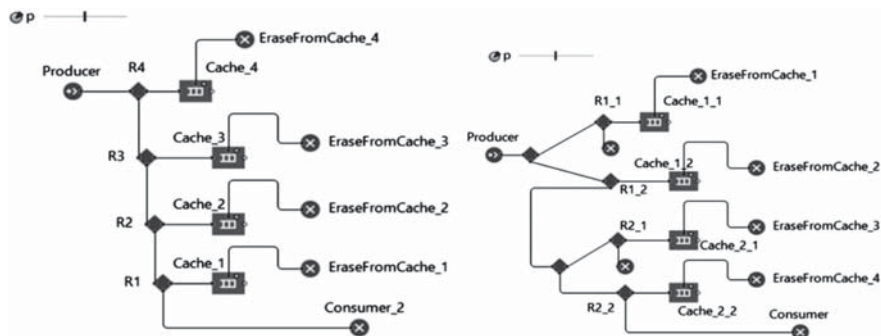


Рис. 1. Линейная и древовидная топологии в AnyLogic

При отправке пакетов ICN с сервера (Producer) пользователю (Consumer) промежуточные роутеры кэшируют их. При этом заявки являются агентами, запрашиваемыми по закону Ципфа с коэффициентом $\alpha = 1.2$, а размер кэша C ограничен. Было рассмотрено и проанализировано два сценария: 1) равная вероятность p попадания в кэш на всех роутерах; 2) политика ProbCache [1]: попадание в кэш зависит от удаленности роутера (количества хопов n) от пользователя.

С помощью метода Монте-Карло найдены оптимальные размеры кэша для обеспечения заданной вероятности попадания в кэш p для обоих сценариев. По результатам моделирования сделан вывод, что использование алгоритма ProbCache позволяет использовать ресурсы кэша на 10–15% экономнее, чем в традиционном варианте, что может быть использовано в дальнейших исследованиях алгоритмов кэширования ICN.

Литература

1. Psaras I., Chai W. K., Pavlou G. Probabilistic in-network caching for information-centric networks // Proceedings of the second edition of the ICN workshop on Information-centric networking. — 2012. — P. 55–60.

*М.В. Ворончихин, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., доц.
(ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары)*

МИГРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ С SQL SERVER НА POSTGRESQL С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МИГРАЦИЯ-КС

В настоящее время со стороны государства и бизнеса существует потребность миграции баз данных из СУБД Microsoft SQL Server в СУБД PostgreSQL, связанная с реализацией концепции импортозамещения, в частности, с исполнением Указа Президента Российской Федерации от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (в части запрета приобретения и последующей эксплуатации иностранного программного обеспечения госорганами и госзаказчиками на критической инфраструктуре и возможных изменений в требованиях к программному обеспечению, используемому органами государственной власти) [1].

Одно из направлений работы компании «Кейсистемс» — импортозамещение и перевод программного обеспечения на систему управления базами данных с открытым кодом и свободной лицензией PostgreSQL. С этой целью специалистами компании разработан программный комплекс «Миграция-КС», обеспечивающий переход с СУБД MS SQL на СУБД PostgreSQL.

Во время процесса миграции он выполняет ряд важных задач, включающих анализ содержимого исходной базы данных, создание структуры базы, перенос объектов базы данных (таблицы, представления, хранимые процедуры, триггеры и т.д.), а также пользовательских данных из исходной базы данных в целевую систему, обеспечивая их сохранность и целостность.

В данной статье показан процесс миграции пользователей комплекса ИАС «Администратор-Д» (территориального подразделения УМВД России) с СУБД MS SQL Server на СУБД PostgreSQL. Данная процедура была осуществлена через несколько этапов, включая подготовку ОС Linux, (в частности, установку и настройку необходимых импортозамещённых сервисов, а также системы управления базами данных PostgreSQL) и саму миграцию базы данных с помощью программного комплекса «Миграция-КС».

Литература

1. Импортозамещение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.keysystems.ru/products/importozameshchenie/importozameshchenie/> (дата обращения 15.11.2023).

Г.А. Туркин, студ.; рук. В.О. Рыбинцев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕТРАНСЛЯТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ WI-FI СЕТИ

В настоящее время Wi-Fi сети имеют огромное значение для нашей повседневной жизни. К сожалению, в ряде случаев возможность их успешного применения ограничивается недостаточным уровнем сигнала, что приводит к недопустимо низкой скорости передачи информации вплоть до полного отсутствия связи. Для расширения зоны покрытия традиционно используются специальные ретрансляторы сигнала или дополнительные точки доступа, работающие в качестве ретрансляторов. Однако, поскольку скорость передачи информации в Wi-Fi сети зависит от уровня сигнала не линейно [1], ретранслятор может быть использован не только для расширения зоны покрытия, но и для повышения пропускной способности сети.

Использование ретранслятора, с одной стороны, приводит к повышению уровня сигнала и, соответственно, скорости передачи информации за счет использования более сложной системы кодирования [1], но с другой стороны — вносит дополнительную задержку в процесс передачи.

В работе ставится и решается задача определения такого уровня сигнала, при котором выигрыш от повышения скорости передачи за счет установки ретранслятора превышает потери от дополнительной задержки в нем.

Для этой цели проводится серия экспериментов по исследованию влияния ретранслятора на скорость передачи информации по протоколу UDP, и с помощью математической модели, обобщающей полученные экспериментальные данные, формулируются рекомендации по целесообразности установки ретранслятора и месте его размещения для повышения пропускной способности Wi-Fi сети.

Литература

1. Different Wi-Fi Protocols and Data Rates: [Электронный ресурс] / URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000045852/wireless/legacy-intel-wireless-products.html> (дата обращения: 08.11.2023).

П.Р. Горбачева, студ.; рук. А.А. Рытов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СВЯЗАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время информационные технологии развиваются очень стремительно, множество информации носит конфиденциальный характер и требует максимальной безопасности, поэтому важной тенденцией является надежное хранение этих данных и предотвращение их изменения. Одним из вариантов решения данной проблемы является формирование блоков данных и встраивание их в изображения, тем самым связывая изображения в единую цепочку. [1]

Целью работы является создание программы для защиты персональной информации за счёт формирования связанной цепочки изображений. Выбранный формат для файлов — PNG. Структура блоков данных представлена в формате JSON. Работа программы заключается в создании связанной цепочки изображений: в каждую картинку внедряется блок данных, содержащий значение цифровой подписи RSA. Хэш-значение для генерации ЭЦП вычисляется от предыдущего изображения, за счет чего достигается связь элементов. Используемые алгоритмы хэширования принадлежат семейству SHA.

Такое решение не требует внешней базы данных, так как изображения напрямую связаны друг с другом, без использования посторонних файлов. Электронная подпись обеспечивает выявление любой модификации или подмены элемента цепочки.

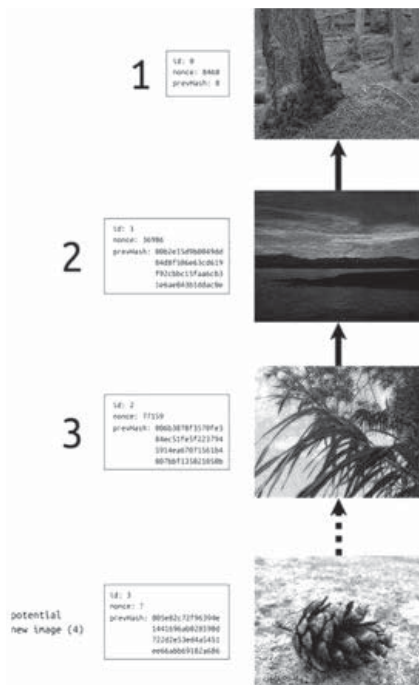


Рис. 1. Пример цепочки изображений

Литература

1. Katarzyna Koptyra, Marek R. Ogiela: Imagechain — Application of Blockchain Technology for Images. Published: 25 December 2020, Sensors 2021, 21(1), 82. — URL: <https://doi.org/10.3390/s21010082> (дата обращения: 07.11.2023).

С.А. Балашов, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СУПЕРРАЗРЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С развитием вычислительной техники появилась возможность отображать всё более высококачественные изображения и видео. Благодаря этому, актуальной становится задача повышения качества изображений. Для этого разрабатываются методы супер-разрешения. Наиболее популярными в настоящее время являются методы, основанные на нейросетях. Их можно разбить на несколько видов по типу нейросети, используемой в методе. Большинство на текущий момент методов супер-разрешения использует свёрточные нейросети (CNN — convolutional neural network) [1]. Альтернативой свёрточным нейросетям являются генеративные нейросети (GAN — generative artificial network) [2]. Ключевым различием этих нейросетей является способ создания изображения высокого разрешения. GAN [2] синтезирует новое изображение хорошего качества и затем проверяет его на аутентичность оригинальному изображению. CNN [1], в свою очередь строит карту изображения, т.е. устанавливает связи между точками на изображении. Затем, на основе полученной карты строится изображение высокой детализации.

Цель работы — разработка и исследование программной реализации алгоритма супер-разрешения и сравнительный анализ с существующими технологиями. Алгоритм был взят из статьи Веньчжэ Ши [4]. Сравнение будет проводиться по нескольким критериям: скорость работы алгоритма, соотношение сигнал-шум и результаты опроса добровольцев.

Литература

1. **IBM.** Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс]: <https://www.ibm.com> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks>, свободный. — Загл. с экрана.
2. **Christian Ledig.** Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://arxiv.org/pdf/1609.04802.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Cambridge in Colour.** DIGITAL IMAGE INTERPOLATION [Электронный ресурс]: <https://www.cambridgeincolour.com> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-interpolation.htm>, свободный. — Загл. с экрана.
4. **Wenzhe Shi.** Real-Time Single Image and Video Super-Resolution Using an Efficient Sub-Pixel Convolutional Neural Network / Wenzhe Shi, Jose Caballero, Ferenc Huszar, Johannes Totz, Andrew P. Aitken, Rob Bishop, Daniel Rueckert, Zehan Wang [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://arxiv.org/abs/1609.05158>, свободный. — Загл. с экрана.

*Д.И. Попов, студ. (НИУ «МЭИ»); К.В. Нигматулина, студ. (СПбГУ);
рук. А.Ф. Крюков, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»);*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ MATCHING DEPENDENCIES И COMPARABLE DEPENDENCIES ПРИ АНАЛИЗЕ НЕТОЧНЫХ ДАННЫХ

В современных системах хранения информации для анализа данных, полученных из реальных источников, требуются специальные инструменты, так как одни и те же по смыслу значения будут различаться по форме записи. Такими инструментами являются два типа зависимостей: matching dependencies (MD) и comparable dependencies (CD). Целью настоящей работы является анализ данных инструментов.

Определение MD:

$$\wedge (R[A_i] \approx_{i, \lambda_i} S[B_i]) \rightarrow R[A_j] \approx_{j, \rho_j} S[B_j], \quad (1)$$

где $R, S, A, B, \lambda, \rho$ описаны в [1].

Определение CD:

$$\wedge \Theta(A_p, A_j) \rightarrow \Theta(B_p, B_j), \quad (2)$$

где $\Theta(A_p, A_j), \Theta(B_p, B_j)$ описаны в [2].

MD являются частным случаем CD, их принято выделять в отдельный класс зависимостей. Существуют алгоритмы эффективного поиска MD, например НуMD — алгоритм поиска минимальных MD [1]. MD удобно использовать для поиска дублирующих записей, так в [3] описан алгоритм MDedup, в основе которого лежат MD. CD применимы для широкого спектра задач, например, обработка нарушений в данных [4]. В [2] авторы считают, что CD найдут применение в поиске ошибочных записей и поиске корректных ответов на запрос в базах данных с неточными данными.

Несмотря на то, что и MD и CD имеют широкую применимость в анализе больших данных, алгоритмы для поиска этих зависимостей не получили широкого распространения в индустрии. Поэтому, необходимо расширить и реализовать эти алгоритмы так, чтобы их можно было использовать в реальных задачах. На настоящий момент отсутствует открытая реализация этих алгоритмов.

Литература

1. **P. Schirmer, T. Papenbrock, I. Koumarelas, F. Naumann** “Efficient Discovery of Matching Dependencies” // ACM Transactions on Database Systems. 2020. Т 45. № 3.
2. **S. Song, L. Chen, P.S. Yu** “Comparable dependencies over heterogeneous data” // The VLDB Journal. 2013. Т 22. № 2.
3. **I. Koumarelas, T. Papenbrock, F. Naumann** “MDedup: Duplicate Detection with Matching Dependencies” // Proceedings of the VLDB Endowment. 2020 Т. 13. № 5.
4. **S. Song, L. Chen, P.S. Yu** “On Data Dependencies in Dataspaces” // 2011 IEEE 27th International Conference on Data Engineering.

Е.М. Якакутов, асп.; рук. В.Л. Широков, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ АСУ ТП НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Исследуемые объекты — корпоративные сети для сбора, обработки, управления и отображения информации в АСУ ТП нефтегазовых объектов.

Особенности рассматриваемых сетей и объектов следующие:

- большая протяжённость и площадь охвата;
- сложность, гетерогенность и реальный масштаб времени;
- мультимедийность, преобладание видео, большие объёмы данных;
- неизвестные законы генерации трафика.

Существует ряд проблем, требующих решения при проектировании и создании корпоративных сетей для АСУ ТП нефтегазовых объектов:

- большие временные задержки при передаче и доступе к данным;
- ограниченная скорость обработки данных и доступа к ним.

Цели исследования и разработки — повышение эффективности и качества функционирования корпоративной сети и системы в целом:

- транспортной сети и подсистем АСУ ТП;
- передачи данных и доставки информации в реальном времени;
- снижение временных задержек при передаче данных.

Задачи, требующие решения:

- повышение энергоэффективности сети;
- привязка корпоративных сетей АСУ ТП к сетям новых поколений (NGN), в том числе к беспроводным (например, Wi-Fi 6, 3G, LTE/4G и т.д.);
- повышение качества обслуживания (уменьшение времени отклика, увеличение скорости передачи, сохранность данных).

Разрабатываемые подсистемы реального времени:

- подсистема сбора, обработки и логгирования данных датчиков и команд управления с локальных диспетчерских пунктов;
- подсистема непрерывного управления технологическими процессами в реальном времени;
- подсистема оперативного вывода видео информации на устройства отображения диспетчерских пунктов.

Ожидаемые результаты исследования и разработки:

- увеличение скорости обработки данных в узлах и подсистемах;
- ускорение доступа, обеспечение актуальности и сохранности данных, в том числе для рестарта подсистем;
- повышение эффективности и качества функционирования отдельных подсистем, корпоративной сети и АСУ ТП в целом.

*А.В. Петроченков, студ.;
рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОРПУСОВ ДАННЫХ СЕТЕВОГО ТРАФИКА

В настоящее время появляются новые типы сетевого трафика, пакеты которых все сложнее поддаются классификации [1]. Для анализа сетевого трафика он перехватывается и преобразуется в корпуса данных (массивы, хранящие заданное описание перехваченных пакетов). Для упрощения анализа сетевого трафика необходима визуализация корпусов данных, инструменты для которой отсутствуют [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка модуля для визуализации корпусов данных сетевого трафика.

В рамках данного доклада рассмотрены реализация данного модуля, его стек технологий (язык программирования Go, библиотека D3.js [3]), а также его функционал на примерах. В его функции входит: отображение данных сетевого трафика в виде графиков (временные зависимости, частотные зависимости, диаграмма связей портов и IP-адресов отправителя и получателя и др.); возможность просмотра разных корпусов данных сетевого трафика на одном графике для сравнения; создание удобного пользовательского интерфейса.

Литература

1. **Getman A.I., Ikonnikova M.K.** A Survey of Network Traffic Classification Methods Using Machine Learning // Program. Comput. Softw. — New York, 2022. — Vol. 48, № 7. — P. 413–423.
2. **A.I. Get'man, Yu.V. Markin, D.O. Obydenkov, V.A. Padaryan, A.Yu. Tikhonov.** Methods of presenting the results of network traffic analysis // Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS — New York 2016. — Vol. 28, № 6. — P. 103–110.
3. **Heydt M.** D3.js By Example. / Michael H. — Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2015. — P. 185.

А.А. Вестфальская, студ.; рук. А.С. Маковец, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА, ИМИТИРУЮЩЕГО ИГРУ НА ЭЛЕКТРОННОЙ БАРАБАННОЙ УСТАНОВКЕ

В настоящее время актуальна проблема приобретения акустических музыкальных инструментов для обучения. Цена на данные инструменты на примере барабанных установок достаточно высока для начинающего музыканта. Хорошей альтернативой являются электронные ударные, однако их стоимость так же оказывается неприемлемой. В связи с чем в данной работе производится попытка поиска решения проблемы, описанной выше.

Создание устройства, имитирующего игру на электронной барабанной установке, является одним из возможных вариантов решения. Предлагаемый подход позволяет использовать бюджетное оборудование и материалы. Достаточно использовать микроконтроллер, небольшое периферийное оборудование и компьютер, доступ к которому есть у каждого. Инновационным элементом создаваемого устройства является то, что оно не автономно, а является приставкой к компьютеру.

Для прототипирования решено использовать платформу Arduino [2] как самую доступную, недорогую и легкую в освоении. В качестве элементов, имитирующих непосредственно ударные инструменты, выбраны пьезо-датчики [1], так как их подключение не требует никакой дополнительной настройки и/или обработки. Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс предполагает подключение к UNIX-системам [3] в силу того, что последние являются свободно распространяемыми.

Разработка этого программно-аппаратного комплекса сопровождается рядом больших сложностей. Среди них можно отметить непосредственное воспроизведение звука электронного ударного инструмента, настройку COM-порта для подключения устройства к ПК, обработку данных, получаемых от датчиков и их последующее преобразование в MIDI-команды для передачи проигрывающему устройству, а также подключение датчиков и кнопок к макетной плате Arduino. На решение этих вопросов и направлена данная работа.

Литература

1. Датчики: справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. — Москва: Технофера, 201. — 624 с.
2. **Perea, F.** Arduino Essentials / F. Perea. — Birmingham: Packt Publishing, 2015. — 206 p.
3. **Stevens, W.R.** Advanced Programming In The Unix Environment / W.R. Stevens, S.A. Rago. — Sebastopol: Addison-Wesley Professional, 2013. — 1032 p.

В.А. Суховерхий; рук. Л.И.Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО И АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТРОЙСТВА КЛАССА IP-KVM КОММУТАТОР

В случае удаленного управления вычислительным оборудованием, используются устройства класса KVM (*сокр.* Клавиатура Видео Мышь).

Каждый тип устройств класса KVM выполняет определенный объем задач в сфере передачи управляющего и видео сигнала.

Разработка сетевого устройства класса IP-KVM коммутатор стала актуальна для предприятия во время пандемии коронавирусной инфекции, когда доступ к рабочим местам с вычислительным оборудованием ограничен, а необходимость постоянного удаленного администрирования оборудования осталась.

В условиях ограниченного доступа к вычислительному оборудованию требовалось получить управление несколькими единицами оборудования, независимо от удаленности администратора от вычислительного оборудования при этом допускалась латентность сигнала ввода в пределах до 1.5 секунды, что идеально подходило под класс устройств IP-KVM коммутатор.

В то же время требовалось разработать данный класс изделия в кратчайшие сроки, для этого в процессе разработки был применен подход SOM (англ. System On Module) моделирование.

SOM моделирование подразумевает разделение электронно-компонентной составляющей конечного изделия по функциональному признаку.

Подход применения SOM при разработке изделия IP-KVM коммутатор позволил разработать изделие в кратчайшие сроки за счет сокращения временных затрат на разработку программного обеспечения и проектирования специализированного аппаратного обеспечения.

На этапе разработки применение SOM моделирования позволило провести поэтапное импортозамещение компонентов параллельно основной разработке изделия, не останавливая процессы проектирования, что в свою очередь существенно ускорило разработку устройства.

В процессе же производства применение SOM моделирования позволяет сократить время на сборку изделия, сократить времена на диагностику и скорость замены дефективного модуля, сократить время на разработку программного обеспечения.

*Д.О. Цаплин, студ.; М.А. Дурова, асп.; Р.О. Ивлев, студ.;
рук. А.Н. Зейн, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

На сегодняшний день цифровое моделирование энергетических систем становится основным методом исследования для специалистов в области энергетики по всему миру [1]. Существует большое количество программных продуктов, используемых для такого моделирования, однако в качестве элементов они применяют готовые статические элементы, и смена ключевых свойств их конфигурации недоступна для рядового пользователя. В результате пользователи этих продуктов в процессе работы вынуждены прибегать к использованию сторонних приложений, в том числе писать модули и расширения на высокоуровневых языках программирования, что не связано с их областью исследований.

Перед разработкой архитектуры будущего программного комплекса были проанализированы существующие на рынке решения, такие как пакет Thermoflow [2] и AxCYCLE [3], что позволило аккумулировать их опыт и прийти к заключению о необходимости использования модели “песочницы”, в которой пользователи могут создавать энергетические объекты по принципу чёрного ящика, логику которого можно описывать с помощью универсальных математических выражений без необходимости использования элементов программирования.

Также для получения специфических данных теплотехнического характера была внедрена возможность использования базы данных CoolProp, а также реализована клиент-серверная архитектура, которая позволяет централизовать разработки различных пользователей для совместного использования.

В результате разработанное ПО отличается от существующих на рынке систем моделирования энергетических процессов с точки зрения гибкости, не уступая зарубежным системам моделирования.

Литература

1. **Рубашкин, А.С.** Методы моделирования технологических процессов, происходящих в энергетическом оборудовании / А.С. Рубашкин, В.Л. Вербицкий, В.А. Рубашкин // Теплоэнергетика. — 2003. — № 8. — С. 44–47.
2. Продукты компании Thermoflow : сайт. — URL: <https://www.thermoflow.com> (дата обращения: 15.10.2023). — Текст : Электронный
3. Продукты компании AxCycle : сайт. — URL: <https://www.softinway.com> (дата обращения: 15.10.2023). — Текст : Электронный

В.И. Лазарев, асп.;
рук. С.В. Вишняков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАЙСТРОЙКИ СВЧ УСТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

В современной промышленности частотные фильтры занимают одну из важнейших позиций, так как вся электротехника использует для своей работы сигналы в форме уровня тока или напряжения. Данные устройства обеспечивают фильтрацию частот определенного диапазона, что способствует исправной работе аппаратуры и повышению её эффективности за счет подавления помех.

Расчет полосно-пропускающих частотных фильтров производится с использованием низкочастотного прототипа, так как он является наиболее универсальным. Однако, данный метод требует дополнительной настройки фильтра, заключающейся в изменении положения резонаторов фильтра, на что может уходить большой объем работ, что подвергают износу анализаторы СВЧ цепей, которые используются для измерения параметров СВЧ устройств.

Объектом исследования является полосно-пропускающий частотный фильтр на диэлектрических резонаторах.

Предметом исследования является применение глубокого обучения с подкреплением для подбора коэффициентов связи частотного фильтра.

Цель исследования заключается в разработке и обучении искусственной нейронной сети для автоматической настройки коэффициентов связи частотного фильтра.



Литература

1. **Фуско, В.** СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование [Текст] / В. Фуско; пер. с англ.; под ред. В.И. Вольмана. — М.: Радио и связь, 1990. — 288 с.
2. **Безбородов, Ю.М.** Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах [Текст]: / Ю.М. Безбородов, Т.Н. Нарытник, В.Б. Федоров. — Киев: "Тэхника", 1989. — 184 с.
3. **Phil Winder** Reinforcement Learning Industrial Applications of Intelligent Agents. — First ed. — Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. — 408 p.

Г.В. Беликов, асп.;
рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР АЛГОРИТМА СЖАТИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В ТРАКТ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА

Информационная система Морречфлота (ИСМРФ) использует спутниковую связь для обмена информацией с территориально распределенными судами. К проблемам спутниковой связи стоит отнести необходимость защиты от несанкционированного доступа, нестабильность сеанса связи, помехоустойчивость, высокая стоимость услуг связи.

Сокращение трафика ИСМРФ, которое обеспечивают средства сжатия данных, позволяет решить перечисленные проблемы. Известен широкий спектр методов сжатия данных [1]. На первом этапе исследования, автором были проанализированы: алгоритм Хаффмана, арифметическое кодирование, алгоритм Зива-Лемпеля-Велча, преобразование Барроуза-Уилера. Результатом анализа явилась классификация алгоритмов по типам сжимаемых данных, согласно которой для сжатия высокоэнтропийных данных (в том числе данные протокола NMEA 0183) лучше подходит преобразование Барроуза-Уилера в связке с алгоритмом Хаффмана, а для обработки изображений — алгоритм Зива-Лемпеля-Велча. Установлена эффективность использования алгоритмов сжатия данных.

Первоначальный анализ алгоритмов проводился с учетом одного критерия — степени сжатия. Однако при одномерном критерии трудно решить проблемы ИСМРФ. Например, высокая степень сжатия исходных данных может привести к неоднозначной расшифровке данных конечным абонентом. Увеличение времени передачи сообщения может способствовать разрыву связи. Во избежание возникновения побочных помех от использования алгоритмов сжатия необходимо проводить многомерный комплексный анализ, для чего на втором этапе решения исходных проблем в анализ вводятся критерии достоверности данных, скорости и качества доставки сообщений.

Результатом второго этапа решения поставленной задачи является анализ рассмотренных алгоритмов сжатия с учетом комплекса критериев (достоверность данных, эффективность сжатия, скорость и качество доставки сообщений), на основе которого произведен выбор алгоритма сжатия для дальнейшего внедрения в тракт спутниковой связи информационной системы морского и речного флота.

Литература

1. **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. — М: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 384 с.

*N.I. Egorov, Ph.D. student; sc. adv. A.N. Yakunin, D. of Tech. Sc.,
Ass. Prof. (NRU "MIET", Moscow)*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF WIRELESS CONTROL MODULE APPLYING RUSSIAN INTEGRATED CIRCUITS

Microelectronics is developing rapidly in the modern world. This makes it possible to design new devices applied almost in various spheres, including telecommunications. Today, the issue of replacing integrated circuits produced in the USA and the countries of the European Union with Russian counterparts in telecommunication systems is becoming more and more urgent due to the sanctions imposed by these countries against Russia. Thus, it is necessary to create a new structural scheme and a new electric schematic diagram for a wireless control module with applying both Russian and foreign integrated circuits.

Due to features of Russian microcontrollers, including their programming and using UART interface instead of USB one, a flash memory and a USB to UART interface converter are added to a structural scheme including a transceiver, an antenna and an external connector in a structural scheme. Moreover, an electric schematic diagram based on this structural scheme was developed.

Later, an experimental research of a designed wireless control module was performed. As a characteristic that evaluates the experiment results, the number of successfully sent messages to the total number of sent messages ratio function described by a formula was used:

$$f = \sum_{i=1}^k \frac{\sum_{j=1}^i n_{jss}}{n_{is}} * 100\% \quad (1)$$

where k is a general number of sent messages, n_{is} is a general number of sent messages during the i -th send, n_{jss} is a number of successfully sent messages during the j -th send, n_{js} is a general number of sent messages during the j -th send [1, p. 532].

As the result of the experiment, the value of the function mentioned the above was calculated according to (1) [1, p. 536]. Its value is 89.25 percent for the created wireless control module, and it equals 80.54 percent for modules XBee Series 2 [2].

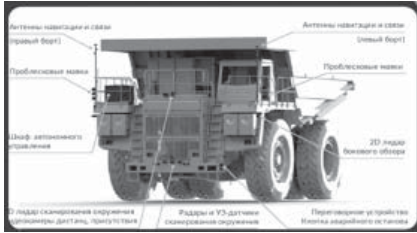
In the future, it is planned to create a printed circuit board based on the developed structural scheme and the electric schematic diagram, produce it and do a new experimental research with it.

Literature

1. **Egorov N.I.** Development of a high-speed radiofrequency control module for wireless communication with packet duplication protection // Proceedings of Universities. Electronics. 2022. Vol. 27. No. 4.
2. **XBee Series 2 OEM RF Modules** // URL: <https://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf> (date of access — 17.11.2023).

И.В. Довгошапка, студ.;
рук. В.Л. Широков, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА, ОБРАБОТКИ И ЛОГГИРОВАНИЯ ДАННЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ САМОСВАЛОВ



Объект разработки и исследования — система сбора, обработки и логгирования данных при работе роботизированного самосвала (см. рис.) и движении по месторождению или горному карьеру.

Исходные условия:

— обработка данных в реальном времени;

- необходимость логгирования данных;
- организация точек отката и рестарта.

Существуют нерешённые задачи разработки системы сбора данных:

- неконтролируемые временные задержки;
- недостаточная скорость обработки данных;
- отсутствие алгоритма сохранения актуальных данных;
- ограничение вычислительной мощности при обработке.

Цель разработки — повышение эффективности функционирования роботизированных самосвалов:

- обеспечение обработки данных в реальном времени;
- оперативный доступ и сохранение состояния актуальных данных;
- снижение задержек при управлении и доступе к данным в реальном времени.

Задачи, требующие решения:

- разработка системы логгирования актуальных данных;
- повышение эффективности системы ввода-вывода данных;
- привязка системы сбора и логгирования актуальных данных к облачным системам хранения и сетям новых поколений (NGN);
- повышение качества обслуживания трафика (увеличение скорости передачи, уменьшение времени отклика).

Ожидаемые результаты разработки системы ввода-вывода:

- ускорение обработки данных и доступа к актуальным данным, организация точек отката и рестарта системы;
- ускорение обработки и ввода-вывода данных;
- повышение эффективности и качества функционирования системы ввода-вывода роботизированного самосвала.

*М.М. Зайнутдинов, Д.Г. Скоробогатов, студенты;
конс. С.Ю. Хиль, ассист.;
рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДОВ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОДА В PYTHON ПРИ ОТКЛЮЧЕННОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ БЛОКИРОВКЕ ИНТЕРПРЕТАТОРА

Многопоточность играет ключевую роль в современной разработке программного обеспечения, обеспечивая возможность параллельного выполнения задач и повышение производительности приложений. Многопоточное программирование становится особенно важным, поскольку современные процессоры являются многоядерными.

Однако в Python существует ограничение в виде глобальной блокировки интерпретатора (*GIL*). *GIL* является механизмом обеспечения потокобезопасности, но также становится преградой для эффективного использования многопоточности. В Python, из-за глобальной блокировки интерпретатора, одномоментно может выполняться только один поток, что ограничивает потенциал многоядерной обработки.

Для обеспечения высокой эффективности параллельного выполнения можно рассмотреть отключение *GIL*. Однако, отключение *GIL* может привести к возникновению ошибок в программе, таких как взаимная блокировка и эффект гонок [1].

Решением вышеописанных проблем является использование статических анализаторов. Анализаторы могут помочь обнаруживать ошибки и оптимизировать код для эффективного использования многопоточности. В рамках данной работы были рассмотрены четыре варианта программ, представляющих сценарии с взаимной блокировкой, включая ожидание процесса самого себя, взаимное ожидание друг друга, неосвобождение ресурса и получение блокировок в разных порядках, с целью анализа их обнаружения существующими статическими анализаторами в Python в контексте работы при отключенной *GIL*.

В рамках исследования использовались следующие статические анализаторы кода: *mypy* [2], *pylint*, *flake8* и *bandit*.

По результатам анализа программных вариантов с взаимной блокировкой установлено, что ни один из использованных статических анализаторов не выявил ошибки взаимной блокировки. Таким образом, задача разработки инструментов для статического анализа программ, ориентированных на обнаружение ошибок, связанных с многопоточностью, является актуальной.

Литература

1. **Sam Gross**. Making the Global Interpreter Lock Optional in CPython. Python Enhancement Proposals. [Электронный ресурс] URL: <https://peps.python.org/pep-0703/>
2. **Jukka Lehtosalo**. Мypy 1.7.0 documentation. [Электронный ресурс] URL: <https://mypy.readthedocs.io/en/stable/>

*Д.Г. Скоробогатов, М.М. Зайнутдинов, студенты;
конс. С.Ю. Хиль, ассист.;
рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМНЫХ БЛОКИРОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ СИМВОЛЬНОГО АНАЛИЗА В C++

В современной разработке программных продуктов многопоточность играет важнейшую роль, позволяя выполнять задачи параллельно, повышая производительность. Это становится особенно актуально, учитывая, что современные процессоры наращивают число физических ядер в системах.

В связи с появлением многопоточных программных продуктов возникли и новые проблемы: взаимные блокировки, состояния гонки, ресурсное голодание, инверсия приоритетов и другие. Для решения данных проблем созданы статические анализаторы, которые позволяют без компиляции кода выявить ошибки.

В рамках исследования проблемы выявления взаимных блокировок были использованы следующие статические анализаторы для языка C++: CLion, CPPcheck, PVS-studio и KLEE [1]. Была проведена проверка обнаружения проблем с взаимными блокировками посредством статических анализаторов ошибок с использованием интерфейса многопоточности `std::thread`, появившегося в C++11, а также POSIX Threads. Рассмотрены различные ситуации взаимных блокировок, по результатам анализа готовых программных решений, содержащих данную ошибку, установлено, что ни один из перечисленных статических анализаторов не определил наличие проблем.

Перспективным вариантом направления разработки и исследований в области статического анализа многопоточных приложений является выявление ошибок, связанных с многопоточным кодом, посредством символьных статических анализаторов, которые используют символьное выполнение программ, учитывая все возможные значения переменных и пути выполнения кода, а также сценарии взаимодействия между потоками.

Таким образом, задача разработки или модификации готовых решений имеющихся инструментов для символьного статического анализа программ, ориентированных на обнаружение ошибок, связанных с многопоточностью, является актуальной.

Литература

1. **А.Г. Зыков, И.В. Кочетков, В.И. Поляков.** Применение системы KLEE для автоматизации тестирования программ на языках C/C++. Научно-практический журнал “Программные продукты и системы” — 14.06.2016 — С. 101–106.

*I.S. Tolmachev, student; A.G. Uymin
(Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow)*

APPLICATION OF THE SELINUX FORCED ACCESS CONTROL SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE NATIONAL OPERATING SYSTEM RED OS

Security-Enhanced Linux (SELinux) embodies a suite of access control policies embedded within the Linux kernel, offering augmented mandatory security levels for operating systems. The principal feature of SELinux's Mandatory Access Control (MAC) is its capacity to prevent attackers from establishing a foothold in the system even after exploiting vulnerabilities. This is achieved by enforcing mandatory policies that restrict actions within the system at large, rather than merely at user or group levels. SELinux transforms an operating system with discretionary privileges into one governed by mandatory access controls, facilitating precise and differentiated access management. Access control within SELinux is executed via security policy configurations, which constrict interactions among various applications and processes, thereby bolstering the system's overall security posture [1][2].

This software package can be integrated into nearly any version of national Linux distributions, ensuring a broad application spectrum. SELinux has been incorporated into the national operating system RED, offering tools such as `audit2allow`, `secon`, and `audit2why` for operational management. Similarly, the Russian Alt Linux distribution incorporates MAC, although it is deactivated by default at the kernel level. Both distributions support logging and monitoring of SELinux security events, underlining the significance of implementing a mandatory access control system in the development of secure infrastructures based on national operating systems [3][4].

Literature

1. **A. Eaman, B. Sistany, A. Felty** Review of Existing Analysis Tools for SELinux Security Policies: Challenges and a Proposed Solution. MCETECH 2017: E-Technologies: Embracing the Internet of Things pp 116–135.
2. **P.N. Devyanin, V.V. Kulyamin, A.K. Petrenko, A.V. Khoroshilov, I.V. Shchepetkov** Integration of mandatory and role-based access control and mandatory integrity control in the verified hierarchical security model of the operating system // Proceedings of ISP RAS. 2020. No. 1.
3. **S. Vermeulen** SELinux System Administration Secondary Edition
4. **J. Wang, D. Li, L. Yang, L. Tan, H. Wang** Security Strategy and Research of Power Protection Equipment Based on SELinux. Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology pp 37–47.

*В.С. Греков, студ.; рук. А.Г. Уймин, ст. преп.
(РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва)*

INNOVATIONS IN CYBERPOLYGONS: ADVANTAGES AND CHALLENGES OF USING RUSSIAN SOFTWARE

Cyberpolygons, platforms designed to simulate cyberattacks, play a pivotal role in developing and testing defensive strategies against a range of threats in cyberspace [1]. With the progression of cutting-edge technologies like artificial intelligence, machine learning, and automation, the sophistication and capabilities of cyberpolygons have markedly improved. The assimilation of Russian-made software within these frameworks has bolstered their security and dependability. Such an amalgamation aids in the expansion of the domestic industry by nurturing the Russian market and supporting local software developers [2]. Additionally, it ensures adherence to national standards and laws, an essential element in the realm of cybersecurity.

However, integrating Russian software into cyberpolygons presents certain challenges. Limited functionality and compatibility issues may arise when this software is paired with international systems. Additionally, there is a notable lack of resources and expertise necessary for sustaining high-level software development and operation. There is also an inherent risk of lagging behind in international standards of innovation and technology. One particularly notable issue is the management of intense network traffic [3].

In conclusion, finding a balance between the use of Russian and open-source software in cyberpolygons is crucial. While Russian software offers numerous benefits in terms of security, reliability, and adherence to local standards, maintaining the competitiveness and innovative edge of cyberpolygons requires the consideration and integration of international best practices and technologies. The advancement of Russian software in the field of cybersecurity necessitates collaborative efforts among specialists, government entities, and academic institutions to overcome existing limitations and sustain its innovative capacity.

Литература

1. **Ciuperca E., Stanciu A., Cîrnu C.** Postmodern education and technological development. Cyber range as a tool for developing cyber security skills // INTED2021 Proceedings. — IATED, 2021. — С. 8241–8246.
2. **Miloslavskaya N., Tolstoy A.** Cyber polygon site project in the framework of the MEPHI network security intelligence center // Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: BICA* AI 2020: Proceedings of the 11th Annual Meeting of the BICA Society 11. — Springer International Publishing, 2021. — С. 295–308.
3. **Uymin A.** Application of machine learning in the classification of traffic in telecommunication networks: working with network modeling systems // E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2023. — Т. 402. — С. 03001.

*А.Г. Уймин, асп.; рук. А.В. Белоусов, д.т.н., доцент
(РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва)*

ENHANCING BIOMETRIC AUTHENTICATION THROUGH THE APPLICATION OF RELU AND MULTILAYER PERCEPTRONS IN MOUSE MOVEMENT ANALYSIS

This paper presents the findings of a pioneering study focused on the development of a biometric authentication algorithm leveraging the dynamics of mouse movements. The core methodology integrates Rectified Linear Units (ReLU) and multilayer perceptrons, components of neural network architecture, to analyze and interpret the intricacies of mouse motion [1], [2].

In our approach, each neuron's output in a given layer (denoted as u_j for the j^{th} neuron in layer s) is computed as a weighted sum of its inputs, followed by a non-linear activation function — specifically ReLU for hidden layers. This is mathematically represented by the ReLU function (1) which introduces non-linearity to the learning process, essential for capturing complex patterns.

$$\psi(u_j) = \max(0, u_j) \quad (1)$$

The network consists of two layers. The transformation from inputs to outputs within the network is structured through the application of weighted sums followed by the activation function, where the weight matrix $W^{[s]}$ represents the synaptic weights between layer $s - 1$ and layer s .

The softmax function (2) is employed at the output layer to convert the logits into a probability distribution over the predicted classes [3].

$$f(x_i) = \frac{e^{x_i}}{\sum_j e^{x_j}} \quad (2)$$

The research demonstrates that the utilization of ReLU activation functions within multilayer perceptrons significantly improves the algorithm's ability to distinguish between individual users based on their unique mouse movement patterns, processed through a softmax layer for accurate probability representation. Key findings indicate that this method not only enhances the accuracy of user authentication but also introduces a level of robustness against common spoofing attempts.

Литература

1. **Asadi B., Jiang H.** On approximation capabilities of ReLU activation and softmax output layer in neural networks // arXiv preprint arXiv:2002.04060. — 2020.
2. **Chong P., Elovici Y., Binder A.** User authentication based on mouse dynamics using deep neural networks: A comprehensive study // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. — 2019. — Т. 15. — С. 1086–1101.
3. **Shen K. et al.** A Study on ReLU and Softmax in Transformer // arXiv preprint arXiv:2302.06461. — 2023.

Э.И. Зарифуллин, студ.;
рук. А.Г. Уймин (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ FRRROUTING В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СЕМЕЙСТВА LINUX

Виртуальный маршрутизатор — это программное обеспечение или виртуальное устройство, которое выполняет функции маршрутизации в виртуальной сетевой среде, без участия физического маршрутизатора. Актуальность перехода от физического сетевого оборудования к виртуальным обусловлена рядом факторов, таких как повышение гибкости сетевой инфраструктуры, улучшение масштабируемости, снижение операционных затрат и способность быстро адаптироваться к изменяющимся потребностям бизнеса.

В данной работе будет рассмотрена настройка маршрутизатора при помощи проекта FRR, являющимся проектом с открытым исходным кодом, на базе отечественной операционной системы ALT Linux. Установка пакета осуществляется после обновления базы данных пакетов командой: `apt-get update && apt-get install frr -y`. После установки FRR необходимо настроить его для сетевой инфраструктуры. Конфигурация FRRouting выполняется через файлы конфигурации, обычно расположенные в `/etc/frr/`. Для активации протоколов динамической маршрутизации необходимо включить использование соответствующих демонов в конфигурационном файле `daemons`. Запуск виртуального маршрутизатора осуществляется при помощи команды: `systemctl enable --now frr`. Для взаимодействия с маршрутизатором и проверки его состояния используется команда `vttysh`, которая является оболочкой для демонов FRR, объединяющая все команды CLI, что упрощает процесс конфигурирования.

Литература

1. **Уймин, А.Г.** Инструментальные средства обучения компьютерным сетям. Развёртывание на базе российского программного обеспечения / А.Г. Уймин, Г.И. Токарев // Системы управления и информационные технологии. — 2022. — № 4(90). — С. 88–92. — DOI 10.36622/VSTU.2022.90.4.019. — EDN KAMNET.
2. **Дибров, М.В.** Компьютерные сети и телекоммуникации. Маршрутизация в ip-сетях в 2 Ч. Часть 1 : Учебник и практикум / М.В. Дибров. — 1-е изд.. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 333 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-04638-0. — EDN IYHYUH.
3. **Замятина, О.М.** Инфокоммуникационные системы и сети. Основы моделирования : Учебное пособие / О.М. Замятина. — 1-е изд.. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 159 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10682-4. — EDN EMXCNW.

М.М. Баруздин, студ.;
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТРАНСКРИБАЦИИ АУДИО- И ВИДЕО КОНТЕНТА

В нашу эпоху динамичного технологического развития и информационного бума, значительное количество знаний и контента передается с использованием мультимедийных форматов, таких как видео и аудио. Нередко такие материалы становятся ключевым инструментом обмена знаний и исследовательской деятельности, олицетворяя современные тренды в области обучения и информационной коммуникации.

Однако, несмотря на все преимущества мультимедийных форматов, их удобство использования не всегда бывает очевидным, особенно для лиц с нарушением слуха, которые, по определению, оказываются исключены из этого визуально-акустического взаимодействия. Кроме того, перевод содержания данных форматов на различные языки представляет собой чрезвычайно сложную и ресурсоемкую задачу. В этом контексте системы транскрибации [1], способные конвертировать мультимедийные материалы в текстовый формат, выступают в роли эффективного решения указанных проблем, обеспечивая доступность информации и разнообразие языкового взаимодействия. Также они полезны при создании текстовых версий аудио и видеоматериалов для улучшения их поисковой оптимизации и обеспечения более удобного восприятия информации.

В пределах настоящего исследования были проанализированы существующие сервисы, предназначенные для трансформации [2] аудиоинформации в текстовый формат. Параллельно проведено сравнительное исследование различных моделей и технологий, решающих данную задачу.

По итогам нашего исследования можно с уверенностью заявить, что применяемые сервисы успешно справились с поставленной задачей, переводя входные аудиоданные в текстовый формат за короткий период времени. Эти результаты свидетельствуют о достаточной эффективности и надежности рассмотренных сервисов в контексте преобразования информации, подчеркивая их значимый вклад в улучшение доступности и удобства работы с мультимедийным контентом.

Литература

1. Транскрибация URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/glossary/transcription> (дата обращения: 13.11.2023)
2. Как сделать транскрибацию аудио и видео в текст: лучшие способы URL: <https://www.calltouch.ru/blog/kak-sdelat-transkribacziyu-audio-i-video-v-tekst-luchshie-sposoby/> (дата обращения: 13.11.2023)

Н.А. Наумов, студ.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ FINE-TUNING НА ПРЕДОБУЧЕННОЙ МОДЕЛИ GPT

В последние годы трансформерные модели, такие как GPT (Generative Pre-trained Transformer), привлекли широкое внимание исследователей и разработчиков в области обработки естественного языка. На сегодняшний день одним из актуальных направлений исследований является применение модификации Fine-Tuning на предобученных моделях, таких как GPT, для решения конкретных задач в области NLP и генерации текста[1].

Эта тема имеет высокую актуальность в свете постоянного развития методов глубокого обучения и искусственного интеллекта. Цель данного исследования заключается в оценке эффективности и потенциала применения метода Fine-Tuning на предобученной модели GPT для решения различных практических задач.

Для достижения описанной цели в данной работе разработана программа для формирования и предобработки данных, пригодных для дообучения модели GPT, включая сегментацию, очистку и преобразование в формат, пригодный для входа конкретной модели. Также проведено дообучение модели GPT на полученных данных с целью адаптации модели к конкретной задаче. Наконец оцениваются результаты выполнения конкретной задачи моделью GPT без предварительной обработки данных в сравнении с результатами, полученными после дообучения, для определения улучшений в качестве решения конкретной задачи.

Литература

1. **Marcos Treviso, Ji-Ung Lee, Tianchu Ji, Betty van Aken, Qingqing Cao** / Efficient Methods for Natural Language Processing: A Survey // Transactions of the Association for Computational Linguistics (2023) 11: 826–860.

В.А. Чумычкин, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.
(ЧГУ им. И.Н.Ульянова, Чебоксары)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ В АЛГОРИТМЕ АСИММЕТРИЧНОГО ШИФРОВАНИЯ RSA

RSA — один из широко распространенных криптографических алгоритмов с открытым ключом. Актуальной задачей является повышение эффективной реализации криптографических алгоритмов на маломощных и недорогих микроконтроллерах, используемых в устройствах малой автоматизации и Интернета вещей (IoT), которые обладают ограниченными ресурсами без аппаратной поддержки шифрования.

В данной работе рассмотрен эффективный метод реализации алгоритма дешифрования RSA на примере одноядерного микроконтроллера ARM Cortex-M7 с тактовой частотой 360 МГц. Применение системы остаточных классов (СОК) позволяет существенно уменьшить время выполнения некоторых арифметических операций для больших чисел [1]. На рис. 1 представлено сравнение времени выполнения дешифрации для стандартной реализации (RSA) с использованием библиотеки Mbed TLS [2] и варианта с использованием СОК (RSA-CRT) в зависимости от длины ключа шифрования 1024–4096 бит.

С увеличением разрядности преимущество алгоритма RSA-CRT существенно возрастает, вычисления выполняются в 3,02 раза быстрее для ключа длиной 4096 бит.



Рис. 1. Время выполнения дешифрации для алгоритмов RSA и RSA-CRT

Литература

1. Чумычкин В.А., Галанина Н.А. Вычисления с многократной точностью на основе CUDA и модулярной арифметики // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 02 июня 2023 года. — Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2023. — С. 56–57.
2. Mbed-TLS [Электронный ресурс]. <https://trustedfirmware.org/projects/mbed-tls/>

А.А. Нечаев, студ.;
рук. А.Г. Гольцов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ИСКАЖЕННОСТИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задача оценки качества изображений является актуальной при разработке и тестировании цифровых алгоритмов обработки изображений [1]. Оценка качества изображений может быть необходима и из-за внесения искажений в изображения (например, при хранении или передаче).

Возникает вопрос, какие оценки качества изображений являются наиболее правильными. В тех случаях, когда изображения в итоге должны быть показаны людям, единственной «правильной» оценкой является субъективная оценка человека [2].

Существуют разные методы оценки качества изображений. В зависимости от метода меняется степень сходства его оценок с оценками человека. Например, некоторые простые методы (MSE, PSNR) дают более далёкие от субъективных оценки [2], методы UIQI и SSIM — более близкие оценки [3]. Однако на данный момент нет метода, который позволял бы давать такие оценки качества изображений, которые бы всегда точно совпадали с оценками человека.

Зрение человека имеет разную чувствительность к искажениям разных типов, поэтому при оценивании качества важен тип искажений. Если тип искажений известен, то корреляция между объективными оценками (метода) и субъективными (человека) сильнее, чем при неизвестном типе искажений. Полученный в результате выявления закономерностей метод оценки качества применим к изображениям только с теми типами искажений, которые использовались при выявлении этих закономерностей. Во многих случаях наиболее близкая к линейной зависимость между оценками метода и оценками человека достигается при вычислении логарифма от полученных значений.

Литература

1. **Сидоров Д.В.** Модификация алгоритма SSIM // Прикладная информатика, 2010 — №4(28). — 123–125.
2. **Z. Wang, A.C. Bovik.** A Universal Image Quality Index. IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, Vol. XX, No. Y, pp. 81–84 (Mar. 2002).
3. **Wang Z.** Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. — IEEE transactions on image processing, vol. 3, 2004, p. 600–612.

В.А. Павлов, студ.; конс. С.Ю. Хиль, ассист.;
рук. О.А. Мирзеабасов, к.т.н., доц. (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ ТЕСТОВ ДЛЯ ЯЗЫКА C++ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В современном мире, тестирование программного обеспечения играет важную роль, позволяя оперативно определять некорректное поведение программного кода. Учитывая темпы современной разработки, эффективное тестирование становится особенно актуальным.

Учитывая возросшие требования в области безопасности информации и анализа программного обеспечения, возникла проблема анализа путей выполнения программного кода, при разных входных данных. Для решения подобных проблем были созданы инструменты символьного исполнения. Они позволяют анализировать различные пути выполнения программы, однако их использование в больших программных комплексах крайне затруднительно. Поскольку подобные анализаторы не имеют возможность отдельно тестировать функции и методы программного комплекса, а могут лишь тестировать весь комплекс целиком.

Решением вышеописанной проблемы, может служить автоматическая генерация модульных тестов с использованием динамического анализа. С помощью генерации модульных тестов, учитывающих результаты работы динамического анализатора, можно значительно повысить эффективность тестирования программ.

В рамках исследования проблемы анализа и тестирования программы с использованием динамического анализа, были использованы следующие инструменты символьного исполнения: Manticore, S2E, Triton и Angr [1]. По результатам анализа готовых программных решений, установлено, что Angr наиболее эффективно справляется с поставленной проблемой, за счет эффективного покрытия путей выполнения программ [1].

Таким образом, задача разработки или модификации готовых решений имеющих инструменты для динамического анализа программ, ориентированных на обнаружение ошибок и генерацию модульных тестов, является актуальной.

Литература

1. XIE, Bailin and LI, Qi and LUO, Jiabin. ICIT '22: Proceedings of the 2022 7th International Conference on Intelligent Information Technology. Association for Computing Machinery "Program Vulnerability Mining System Based on Symbolic Execution" — 02.2022 — С. 83–89.

*Н.-Л.Э. Попов, асп.; В.К. Рыбников, асп.;
рук. А.В. Шунтов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ГИБРИДНАЯ ОПТИМИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ГЛУБОКОЙ СВЕРТКОЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

В последние годы методы обнаружения объектов на основе глубокого обучения, разработанные на основе компьютерного зрения, привлекли интерес общественности. Распознавание объектов — одна из самых фундаментальных и сложных задач компьютерного зрения [1]. Она направлена на обнаружение экземпляров объектов на реальных изображениях из огромного количества установленных категорий. Метод глубокого обучения для распознавания объектов, стремительно набирают популярность как способ интерпретации видеоизображений, полученных с помощью различных датчиков. В связи с огромным разнообразием приложений в различных системах компьютерного зрения, таких как обнаружение активности и событий, поиск изображений на основе контента, понимание сцен и других задач. Исследователи потратили десятилетия на разработку автономных систем обнаружения объектов с использованием специальных методов классификации, основанные на глубоком обучении.

Первыми шагами в исследовании являются операции удаления шумов и нормализации, выполняемые с помощью фильтров Гаусса и методов нормализации контраста соответственно. Затем предварительно обработанные изображения подвергаются сегментации на основе энтропийного алгоритма, который разделяет значимые области изображения для выделения отдельных объектов. Задача классификации решается с помощью предложенной гибридной оптимизированной плотной сверточной нейронной сети (ГОПСНС). Основная цель данной программной платформы — точное распознавание отдельных признаков из собранных входных кадров. Эффективность предложенной системы оценивается путем сравнения с существующими методологиями машинного обучения и глубокого обучения.

Литература

1. Качалин В.С., Панов Ю.Н., Попов Н.-Л.Э. Сравнительный анализ различных систем оптического распознавания символов при работе с текстом, написанным с помощью кириллического алфавита // Современные наукоемкие технологии. — 2022. — № 8. — С. 65–70.

Секция 16

УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Control and intelligent technologies

Председатель секции: к.т.н. Мохов Андрей Сергеевич

Секретарь секции: Гребенщиков Николай Ильич

Д.В. Шарова, студ.; рук. П.Е. Ганин, к.т.н., ст преп. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛК

С целью снижения издержек на внедрение автоматизированных систем управления в производственный цикл осуществляется имитация основных технологических этапов процессов автоматизированного производства и используются виртуальные модели технологических процессов со средой виртуального трехмерного моделирования. В рамках проведенной работы были разработаны алгоритмы управления основными видами технологических процессов на промышленном производстве, а именно: сортировка, сборка, опрессовка, перенос, распределение, тестирование, сборка и обработка. Актуальность данной темы состоит в том, чтобы ускорить процесс написания программы управления для промышленных контроллеров путем детального разбора процедуры управления технологическими процессами на примере виртуальных моделей и типовых реализаций алгоритмов управления с использованием языков последовательности действий GRAPH и структурированного текста STL.

Алгоритмы, по которым происходит управление технологическими процессами, реализованы с использованием языков программирования ПЛК стандарта ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 STL и GRAPH. Представлены структуры программ и стандартные алгоритмы на этих языках с подробными примерами программ управления для типовых операций промышленного производства.

Литература

1. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ STEP7. — Siemens AG. Департамент техники автоматизации и приводов, 2001 — 605 с.
2. Справочное руководство S7-GRAPH V5.3 для S7-300/400. Программирование систем последовательного управления.
3. **Бычков, М.Г.** Применение промышленных программируемых контроллеров для автоматизации технологических процессов: Учебное пособие по курсу «Программируемые контроллеры и ЧПУ» / М.Г. Бычков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ). — 1992. — 93 с.

А. Риша, асп.; рук. М.Ю. Косинский, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОГЛАСОВАННОГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Беспилотные летательные аппараты — это автономные или дистанционно пилотируемые летательные аппараты, которые используются в различных областях. Благодаря низкой стоимости и простоте применения, они широко используются для наблюдения за местностью, поиска и спасения людей, обеспечения радиосвязи, сбора информации (такой как фотографии и видео), доставки грузов и даже для управления дорожным движением в городе.

Одними из наиболее значимых ограничений, препятствующих более широкому использованию беспилотных летательных аппаратов, являются плохие погодные условия и невысокая ёмкость используемых батарей.

Чтобы уменьшить влияние этих ограничений, разработаны технологии согласованного применения беспилотных летательных аппаратов, такие как, например, проект «low-cost drone swarm» (рой БПЛА с низкой стоимостью), представленный в 2016 году на авиасалоне в Фарнборо [1].

Наиболее известными алгоритмами роевого интеллекта, применяемые в системах беспилотных летательных аппаратов, являются алгоритм оптимизации роя частиц, пчелиный алгоритм, муравьиный алгоритм, алгоритм дифференциальной эволюции [2].

При согласованном применении группа беспилотных летательных аппаратов может взаимодействовать друг с другом как эскадрилья для более эффективного выполнения задач с учётом доступных ресурсов.

Таким образом, развитие и применение алгоритмов согласованного цифрового управления группой беспилотных летательных аппаратов обеспечит более широкий охват местности, гибкость при решении задач и более высокую надёжность. Например, при проведении операций по поиску и наблюдению может охватываться большая площадь местности, что сократит затрачиваемые на решение задачи ресурсы и время.

Литература

1. **Chen X; Tang J; Lao S.** Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols. Appl. Sci. 2020.
2. **Atul Kumar.** Genetic Algorithms. [Электронный ресурс] URL: <https://www.geeksforgeeks.org/genetic-algorithms/> (дата обращения: 15.10.2023).

О.В. Трутнева, студ.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕНЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РЫНКЕ НА СУТКИ ВПЕРЕД С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОМОДЕЛИ

Современный оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) столкнулся с рядом сложностей, связанных с определением цены на электроэнергию. Ценообразование в этой сфере играет ключевую роль, и его прогнозирование становится актуальной задачей для как поставщиков, так и потребителей, поскольку наиболее точный прогноз позволит максимизировать прибыль и минимизировать затраты.

ОРЭМ можно разделить на три основных сектора: рынок двусторонних договоров, рынок на сутки вперед (РСВ) и балансирующий рынок. Более 70% сделок в этой сфере происходят на РСВ, и именно здесь ценообразование и становится центральной проблемой. Цены формируются на основе ценовых заявок, представленных поставщиками и потребителями, и определяют равновесную цену для всех участников РСВ [1].

На сегодняшний день существует множество методов для прогнозирования цен на электроэнергию. Особенный интерес представляют модели, использующие искусственные нейронные сети (ИНС). Преимуществом данных моделей является возможность учета всех факторов, влияющих на цену электроэнергии. Вместе с тем важно отметить, что использование абсолютно всех факторов является неэффективным с точки зрения вычислительных ресурсов и времени. Поэтому в данной работе выполнен анализ и выбор оптимального набора факторов, влияющих на ценообразование на РСВ: час суток, день недели, курс евро, температура воздуха, бинарная переменная, относящая текущий день к выходному дню, цена электроэнергии в предшествующий час и аналогичный час на предыдущей неделе [2].

В работе для построения модели прогнозирования цены на РСВ применяются различные типы нейронных сетей, включая многослойные перцептроны (MLP) и рекуррентные нейронные сети (LSTM).

Литература

1. **Киреев С.В., Тюнин И.Б.** Рынок на сутки вперед: концепция, ценообразование, фундаментальные факторы // Аудит и финансовый анализ. — 2011. — №. 2. — С. 126–131.
2. **Золотова И.Ю., Дворкин В.В.** Краткосрочное прогнозирование цен на российском оптовом рынке Электроэнергии на основе нейронных сетей // Проблемы прогнозирования. — 2017. — №. 6. — С. 47–57.

Р.А. Абдурахманова, студ.;
М.Ю. Косинский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ СГЕНЕРИРОВАННЫХ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В недавнем прошлом генеративные нейронные сети создавали изображения с серьезными визуальными дефектами, которые были заметны человеческому глазу. Но сейчас качество изображений, созданных нейронными сетями, быстро возросло. Нейронные сети создают фотореалистичные изображения с высокой точностью, что приводит к сомнениям в подлинности и достоверности изображений, которые можно найти в сети Интернет. Данная технология может быть использована для создания ложных сообщений, новостей доказательств и манипуляции общественным мнением. На данный момент существует не так много инструментов для распознавания изображений, сгенерированных с помощью нейронных сетей.

Учитывая необходимость выявления сгенерированных изображений с целью выявления, например, поддельных новостей следует рассмотреть использование компьютерного зрения.

Задачу выявления сгенерированных изображений предлагается сформулировать в виде задачи классификации изображений на настоящие и поддельные (созданные нейронной сетью). Классификация осуществляется на основе обработки признаков, извлекаемых сетью из анализируемого изображения. При этом признаки, выделенные нейронной сетью в ходе обучения на большом количестве изображений, являются абстрактными, недоступными для интерпретации человеком.

Для решения поставленной задачи рассматриваются архитектуры нейронных сетей (свёрточные нейронные сети, LSTM, ResNet), используемых для распознавания изображений.

Настройку и проверку нейронной сети предлагается выполнить на основе набора данных CIFAKE [1]. Он представляет собой объединение из двух наборов данных: реальных изображений, созданных человеком и собранных из набора данных CIFAR-10, и поддельных, созданных нейронной сетью Stable Diffusion v1.5.

Такой набор данных выступит в роли источника для решения задачи бинарной классификации и позволит, как произвести настройку нейронной сети, так и проверить качество её функционирования.

Литература

1. **Bird, J.J., Lotfi, A.** CIFAKE: Image Classification and Explainable Identification of AI-Generated Synthetic Images // arxiv URL: <https://arxiv.org/abs/2303.14126> (дата обращения: 02.09.2023).

В.А. Яблокова, студ.;
рук. Д.В. Вершинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ СНИМКОВ ГАЛАКТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Снимки галактик представляют собой важный источник информации о структуре и эволюции вселенной. Однако, классификация галактик по их внешнему виду является сложной задачей, требующей экспертного знания и много времени. В связи с этим, актуальность данной темы состоит в необходимости эффективного и автоматизированного анализа больших объемов данных, полученных при наблюдении галактик. Традиционные методы классификации галактик требуют большого количества времени и усилий от исследователей, в то время как нейронные сети могут обрабатывать данные быстро и точно. Таким образом, данная тема является актуальной и имеет большой потенциал для дальнейших исследований в области астрономии. В последние годы нейронные сети показали высокую эффективность в решении различных задач классификации, включая обработку изображений. Поэтому целью данной работы является разработка и применение нейронных сетей для классификации снимков галактик. Будет представлена работа по классификации снимков галактик с использованием нейронных сетей. Был проведен обзор литературы по классификации галактик, выявлены проблемы традиционных подходов и показана эффективность нейронных сетей. Разработана модель нейронной сети, основанная на сверточных нейронных сетях, и проведено ее обучение и тестирование. Полученные результаты показывают высокую точность классификации галактик и открывают новые возможности для исследования вселенной. Методология исследования включает сбор и предобработку большого набора данных снимков галактик. Классификация галактик имеет важное значение для понимания и изучения структуры и эволюции вселенной, а использование нейронных сетей позволяет сделать этот процесс более эффективным и точным.

Литература

1. Журавлев, Ю.В. Нейросетевые методы обработки и анализа данных в космической астрофизике: Монография. — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2017.
2. Кучма М.О., Воронин В.В., Блощинский В.Д. Настройка, обучение и тестирование сверточной нейронной сети в задаче тематической обработки спутниковых изображений // Информатика и системы управления. 2021. № 1 (67).

*А.А. Чепига, асп.; рук. С.В. Петренко, д.т.н., проф.
(ПАО «НПО «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина», Москва)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГРУПП ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

Одним из путей повышения эффективности функционирования наземных средств обслуживания пространственно-распределенных групп воздушных объектов (ПГВО) является создание и совершенствование математических моделей и алгоритмов для автоматических и полуавтоматических систем управления в составе комплексов обнаружения и сопровождения, учитывающих условия обслуживания пространственно-распределенных групп воздушных объектов и особенности управления механическим перемещением поворотного устройства [1].

Реализация перемещения поворотного устройства комплекса обслуживания пространственно-распределенных групп воздушных объектов возможна при передаче соответствующей последовательностью курсовых углов, в систему управления поворотным устройством. В результате проведенных имитационных экспериментов было определено, что универсальный закон управления поворотным устройством КП не является оптимальным во всем диапазоне углов от 0° до 40° . Поэтому, для минимизации времени перемещения КП от одного поражаемого кластера воздушных объектов к другому была разработана математическая модель управления поворотным устройством комплекса обслуживания.

Исследование полученных алгоритмов и моделей показало их реализуемость, а также уменьшение времени перемещения поворотного устройства комплекса обслуживания по сравнению с универсальным законом перемещения. Относительный выигрыш времени при замещении универсального закона перемещения поворотного устройства комплекса обслуживания оптимальным составил на наиболее часто встречающемся интервале перемещения 1° – 5° 35%, а на интервале 10° – 17° 40%. При этом время перемещения поворотного устройства на интервале 1° – 22° 35% практически не отличалось от времени перемещения с идеальным законом управления.

Литература

1. **Петренко С.В., Шепель Э.А.** Способ детерминированного синтеза многоэлементных технических систем // «Перспективы науки». Учредители ТРОО «Фонд развития науки и культуры». — Тамбов, 2015, № 7 (70). — ISSN 2077-6810. — С. 46–48.

А.А. Болотникова, студ.; рук. А.А. Новиков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АСУ СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время компании всё чаще сталкиваются с проблемой хранения и сортировки товаров в помещениях складов. Разработанный проект направлен на построение модели и алгоритма управления сортировочным узлом складского комплекса. За основу было взято существующее складское помещение. Используя платформу Factory I/O, предназначенную для эффективной симуляции управления задачами в реальном времени, была создана модель технологического процесса сортировки и управления движением товаров в складском помещении представленная на рисунке 1.

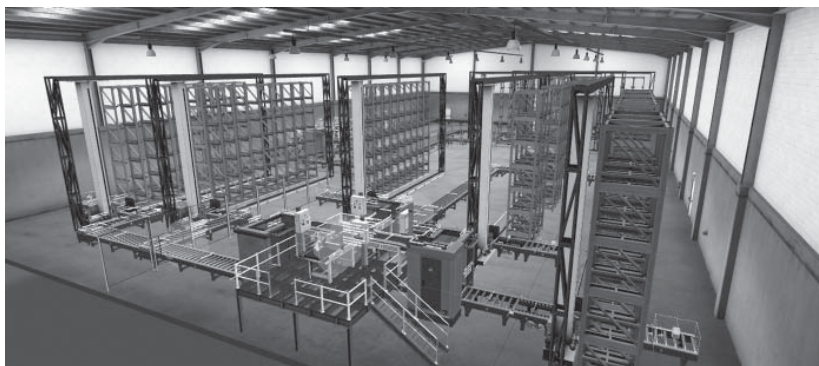


Рис. 1. Модель складского помещения

Для реализации алгоритма управления была использована встроенная программа Control I/O. Данный пакет позволяет оптимизировать распределение товаров по складу, сортируя их по различным критериям, таким как тип продукции и размер упаковки. Такой подход минимизирует воздействие человеческого фактора, уменьшает затраты на труд и повышает производительность складского процесса.

Результаты данной работы предоставляют возможность внедрения автоматизированной системы сортировки в среде Factory I/O, что может быть весьма полезным для оптимизации производственных и логистических процессов на складах. Автоматизированная система сортировки обеспечивает точность, быстродействие и эффективность управления складским пространством, что является ключевым фактором в современной логистике и производственном управлении.

Литература

1. **Hans Berger.** Automating with SIMATIC S7-1500, 2014, 832 стр.

Д.А. Антипов, студ.; рук. А.С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛЕЙ НТТР-ЗАПРОСОВ С ЦЕЛЮ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕБ-АТАК

Веб-атаки на основе НТТР-запросов — это популярный вид атак, который используется злоумышленниками и заключается в модификации НТТР-запросов, чтобы они, при обработке веб-сервером, вызывали нежелательные действия.

В данной статье рассмотрены два подхода к предварительной обработке данных полей НТТР-запросов для их последующей классификации и выявления веб-атак.

Первый подход основан на вычислении среднего значения ASCII символов для каждого поля веб-запроса [1]. Второй подход основан на подсчете букв, цифр и служебных символов в каждом поле запроса.

Для сравнения использовался один и тот же метод классификации Random Forest. В работе использовались 2 выборки: SR-BH 2020 [1] и ECML/PKDD 2007. Обучение и тестирование проводилось как на каждой по-отдельности, так и на объединенном корпусе запросов.

Таблица 1. Результаты исследования

Метод предварительной обработки	Набор данных	F1-score
Вычисление среднего значения ASCII символов	SR-BH 2020	0.87
	ECML/PKDD 2007	0.65
	Объединенная выборка	0.74
Подсчет букв, цифр и служебных символов	SR-BH 2020	0.94
	ECML/PKDD 2007	0.85
	Объединенная выборка	0.89

Как видно из таблицы 1, наилучшие результаты классификации были получены при использовании второго подхода, при этом увеличение составило от 9 до 22 процентов по F1-score. В дальнейшем будут исследованы подходы к предварительной обработке, позволяющие улучшить полученные результаты.

Литература

1. **Tomás Sureda Riera**, Juan-Ramón Bermejo Higuera. A new multi-label dataset for Web attacks CAPEC classification using machine learning techniques: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404822001833>

А.В. Акиншин, студ.; рук. Н.И. Гребенчиков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОЙ МОДЕЛИ ГАЗОВОГО КОТЛА

В современном контексте развития энергетики, вопрос эффективного управления газовыми котлами представляет собой одну из актуальных проблем. Проект «Разработка учебной модели газового котла с логикой управления в TIA Portal и CODESYS» представляет собой ответ на вызовы современного энергетического сектора.

Целью исследования является создание учебной модели газового котла, схема которой изображена на рисунке 1, включающей в себя интегрированные системы управления, основанные на TIA Portal и CODESYS. Этот подход позволяет не только обеспечить студентов необходимыми навыками в области автоматизации тепловых процессов, но и эффективно использовать ресурсы в условиях современных требований к энергоэффективности.

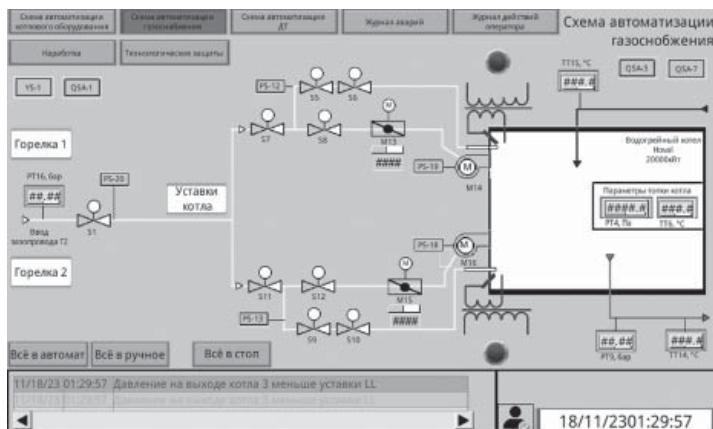


Рис. 1. Схема управления розжига котла

Было уделено особое внимание разработке логики управления для клапанов на линии розжига газового котла, а также другим аспектам, определяющим эффективность и надежность работы котла. Использование передовых технологий и интегрированных сред разработки становится ключевым фактором в обеспечении стабильности и оптимизации энергопотребления.

Литература

1. **Шафрановский В.А.** Справочник наладчика автоматики котельных установок. Симферополь Таврия, 1987.

*М.Н. Тимофеев, соиск.; А.Ю. Щелкунова, студ.;
рук. Ю.Б. Томашевский, д.т.н. (СГТУ, Саратов)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОЩНОСТЕЙ ПРИ РАБОТЕ МИКРОГРИД

Показана проблема и сформулирована постановка задачи имитационное моделирование баланса энергетических мощностей при работе микрогрид. Рассмотрена энергетическая система, включающая в себя солнечный и ветряной источники электроэнергии, преобразовательный комплекс, накопители. [1] Составлено уравнение баланса мощностей выглядящие следующим образом:

$$P_{wg} + P_{pw} + P_{ab} + P_{вн} = \sum_{j=1}^N P_j$$

где P_{wg} — мощность ветрогенератора; P_{pw} — мощность солнечной батареи; P_{ab} — мощность аккумуляторных батарей; $P_{вн}$ — мощность поступающая из внешних источников, например из федеральной сети; $P_j (j = \overline{1, N})$ — мощность j -го потребителя. Построены дифференциальные уравнения, описывающие энергетическую систему. Которыми проверяется методика, описанная в [2–3]. Создана имитационная модель на основе методов системной динамики и агентного моделирования. Оценка работы производилась в среде AnyLogic. В процессе моделирования проведена проверка некоторых статических рабочих режимов энергосистемы, использованы результаты долгосрочных наблюдений за январь 2023 года. В процессе исследования выявлены причинно-следственные связи процессов происходящих в энергетической системе, подтверждающие ранее произведённые исследования.

Литература

1. **Тимофеев М.Н.** Исследование энергетической системы методом системной динамики // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 1. С. 7–12. DOI 10.52348/2712-8873_ММТТ_2023_1_7
2. **Тимофеев, М.Н.** Использование системного подхода для выбора структуры гибридной электростанции на примере Саратовской области / М.Н. Тимофеев, А.Н. Тимофеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2018. — Т. 7, № 4(44). — С. 61–66.
3. **Тимофеев, М.Н.** Анализ вариантов системы нечёткого выбора для прогнозирования производительности гибридной электростанции / М.Н. Тимофеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2020. — Т. 9, № 4(52). — С. 73–77. — DOI 10.46548/21vek-2020-0951-0013.

*П.С. Вансков, Я.И. Москалев, студенты;
рук. О.А. Саченков, к. ф.-м. н., доц. (КФУ, Казань)*

О БИОНИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СПАЙКОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В настоящее время широкую популярность набирают разнообразные направления, использующие искусственный интеллект, где одним из самых перспективных направлений считаются спайковые нейронные сети [1].

В данной работе представлен способ реализации управления динамической системой с использованием модели нейронной сети. Работа выполнена в пакете прикладных программ для моделирования динамических систем — MATLAB SIMULINK. Была рассмотрена задача стабилизации динамической системы с использованием бионической системы управления. Примером динамической системы являлась двухмерная модель с двумя парами мышц антагонистов, в качестве модели мышцы использовалась биомеханическая модель Милларда [2]. Для контроля активации мышц использовалась бионическая система управления, архитектура которой описана в работе Рыбака [3, 4].

Целью данной работы является создание системы управления динамической системой, на основе модели нейронной сети с обратной связью.

В результате работы была построена достоверная динамическая система, реализована связь между программами, осуществляющими управление и моделирование динамической системы. Определены функциональные блоки и построена система управления для регуляции мышц на основе нейронной сети, создана бионическая система управления, а также было достигнуто стабильное положение на протяжении определённого времени.

Литература

1. **Zhang X.** Spike-Based Indirect Training of a Spiking Neural Network-Controlled Virtual Insect, 52nd IEEE Conference on Decision and Control. — 2013. — P. 6798–6805.
2. **Millard M., Uchida T., Seth A., Delp S.L.** Flexing computational muscle: modeling and simulation of musculotendon dynamics. ASME Journal of Biomechanical Engineering, 2013. — 135(2). — 021005.
3. **Jimenez-Romero C.** SpikingLab: modelling agents controlled by Spiking Neural Networks in Netlogo, Neural Comput & Applic. — 2017. — Vol. 28. — P.755–764.
4. **D.A. McCrea, I.A. Rybak.** Organization of mammalian locomotor rhythm and pattern generation, Brain Res Rev. — 2008. — Vol. 57, Is.1.

Д.Р. Мухлисов, студ.;
М.Ш. Гарифуллин, д.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛУЖБЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕПРОМЫСЛА ПАО «ЛУКОЙЛ»

Обеспечение надежности и безопасности в нефтепромышленной отрасли — важная задача в современном обществе. Технологические процессы добычи и транспортировки углеводородного сырья представляют потенциальные опасности из-за больших объемов горючего материала. Крупные аварии могут привести к экологическим катастрофам, требующим значительных финансовых затрат на ликвидацию последствий, а восстановление природы занимает многие годы. Надежность технических систем напрямую влияет на эффективность производства. Проблемы повышения эффективности связаны с сокращением производственных расходов, включая энергозатраты и ремонтные работы. Решение этих задач зависит от технического состояния оборудования, включая повышение эффективности службы контроля и диагностики, применение новых технологий в автоматизации [1], а также улучшение методов технической диагностики и обучение персонала.

В данной работе рассматриваются методы применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и цифровых двойников с целью мониторинга производственной инфраструктуры в рамках технологии интернета вещей (IoT). Для повышения компетентности персонала предлагается обучение на базе виртуальной и дополненной реальности (VR и AR) с использованием тренажеров, для помощи в процессе деятельности на производстве и устранении аварийных ситуаций. Применение аналитических инструментов, методов анализа больших данных (Big Data) и искусственного интеллекта в свою очередь позволит улучшить прогнозирование отказов оборудования и минимизировать всевозможные затраты.

В заключение, следует отметить, что внедрение передовых технологий индустрии 4.0 не только способствует повышению эффективности службы контроля и диагностики на объектах нефтепромысла ПАО «Лукойл», но также обеспечивает более безопасную и эффективную эксплуатацию нефтепромышленных объектов, поддерживая высокий уровень производительности компании.

Литература

1. **Валиуллина, Д.М.** Повышение эффективности службы контроля и диагностики на объектах нефтепромысла ПАО «Лукойл» / Д.М. Валиуллина, Д.Р. Мухлисов // Аллея науки. — 2023. — Т. 1, № 6(81). — С. 581–584. — EDN PVQMRO.

Р.Р. Адельгужин, студ.;
рук. А.М. Хафизов, к.т.н., доц. (ИНН УГНТУ, Салават)

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В настоящее время вопросы применения интеллектуальных методов принятия решений в системах управления являются актуальными [1]. Внедрение подобных систем в современное промышленное производство позволяет улучшить функционирование инженерных систем и оборудования, а также увеличить производительность по сравнению с системами, использующими классические регуляторы. Основываясь на вышесказанном, возникает необходимость в подготовке специалистов, имеющих представление и понимание основ функционирования подобных интеллектуальных систем, на базе высших учебных и средних специальных заведений. Для решения данной проблемы был создан цифровой двойник учебно-исследовательского лабораторного комплекса на основе программно-технического комплекса автоматизации отечественного бренда «ОВЕН». Управление моделью технологического объекта осуществляется с помощью аппарата нечеткой логики, который был описан в программной среде CoDeSys V2.3.

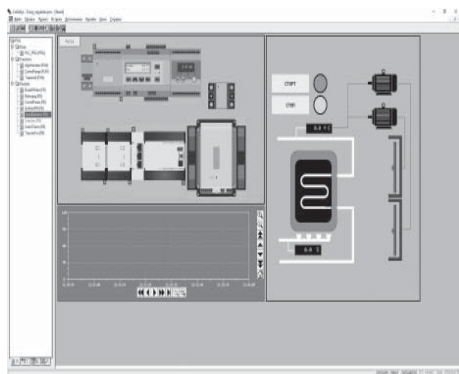


Рис. 1. Основное (стартовое) окно цифрового двойника

Управление моделью технологического объекта осуществляется с помощью аппарата нечеткой логики, который был описан в программной среде CoDeSys V2.3.

Литература

1. **Шилкина С.В.** Контроллер нечёткой логики в управлении технологическими процессами // Вестник СибАДИ. — 2018, Том 15 вып. 1. — С. 106–114.
2. **Баширов, М.Г.** Виртуальная реализация учебного стенда на основе программных средств отечественной компании ОВЕН // «Интеграция науки и образования в ВУЗах нефтегазового профиля». — 2020, — С. 214–216.

А.Ю. Ванина, студ.; рук. А.С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО АННОТИРОВАНИЯ НОВОСТНЫХ ТЕКСТОВ

Аннотирование текста — это способ сжать большой объем информации в краткую форму путем отбора важной информации и исключения неважной и избыточной. Учитывая количество текстовой информации, присутствующей во всемирной паутине, задача аннотирования текста становится очень важной.

По типу получаемого реферата можно выделить следующие подходы:

- 1) **Экстрактивный подход** заключается в извлечении из исходного текста наиболее «значимых» информационных блоков.
- 2) **Абстрактивный подход** — подход, в котором генерируется новый текст, отражающий смысл исходного.

В работе будем применять экстрактивный подход, который заключается в выборе предложений с наибольшим весом. Каждому слову присваивается значение, равное количеству повторений в тексте. Для союзов, предлогов и неинформативных слов устанавливаем вес ноль. Рассчитываем вес каждого предложения, который равняется сумме весов слов, встретившихся в этом предложении. Затем нормализуем веса предложений, чтобы они были в диапазоне от 0 до 1, и выбираем предложения с наибольшим весом, превышающим заданный порог.

В качестве исходных данных используется выборка BBC News, которая содержит около 2000 новостных статей и их аннотации. Для оценки качества используем семейство метрик *ROUGE*, которые оценивают схожесть исходного и аннотированного текста.

По результатам работы была проведена настройка порога и оценено полученное качество. При пороге 0.9 значение F-меры 0,26, при пороге 0.8–0,38. Наилучшее качество F-меры 0,55 получено при пороге 0.65, дальнейшее снижение порога приводит к незначительному увеличению F-меры, но при этом в сжатый текст попадает половина исходного, что противоречит цели исследования.

В дальнейшем будет применен абстрактивный метод для генерации заголовков статей.

Литература

1. **Сообщество IT-специалистов [Электронный ресурс]**. Постановка задачи автоматического реферирования и методы без учителя URL:<https://habr.com/ru/articles/595517/> (дата обращения: 26.11.2023).

*Т.А. Алёшечкина, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ ФРЕЙМВОРКОВ AGILE ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПО

С каждым днём мир активно изменяется в части технологий, чтобы легче приспособиться к новшествам и быть востребованными, компании начали применять гибкие методологии, семейство которых в 2001 году получило название Agile.

Современный Agile — это методология разработки программного обеспечения (ПО), которая призвана улучшить гибкость и результативность процесса разработки. Она основана на принципах Agile-манифеста и применяется для более эффективного решения сложных задач и быстрой адаптации к изменениям.

После ухода иностранных вендоров ПО из России возникла необходимость в разработке нашего в короткие сроки. Одним из возможных решений является разработка отечественного ПО с использованием подхода Agile.

Применение Agile позволит российским разработчикам быстрее и эффективнее создавать собственное ПО в соответствии с современными потребностями, нормативными требованиями и безопасностью. Кроме того, данная методология способствует укреплению коммуникации внутри команды разработчиков, что может привести к повышению качества процесса разработки и финального продукта.

Для этого компании могут использовать фреймворки Agile: Scrum, Kanban, Lean, Хр и другие.

Эти фреймворки имеют свои достоинства и недостатки, выбор конкретного зависит от потребностей и особенностей проекта. Важно отметить, что Agile — это настраиваемая практика, которая должна быть приспособлена к уникальным условиям команды [1].

Благодаря применению Agile-методологии в разработке отечественного ПО российские компании и разработчики смогут стать более независимыми от иностранных решений, обеспечить безопасность и гибкость разрабатываемого ПО, повысить его качество и уровень поддержки. Это позволит удержать и привлечь заказчиков на внутреннем рынке, а также экспортировать отечественное ПО на международном уровне.

Литература

1. **Коул Р., Скотчер Э.** Блистательный Agile. Гибкое управление проектами с помощью Agile, Scrum и Kanban / пер. с англ. Сидорова М.А. — М.: «Питер» — 2019 — 40 с. — ISBN 978-5-4461-1051-3.
2. **Официальный сайт Agile-манифеста [Электронный ресурс].** URL: <https://agilemanifesto.org> (дата обращения: 18.11.2023)

А.С. Федоров, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СТЕНДА «ШАШКИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ХОДА У ШАШЕК ОППОНЕНТА

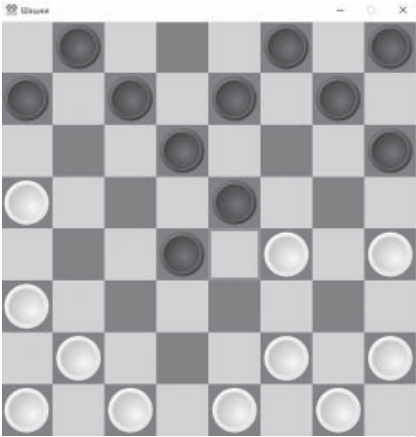


Рис. 1. Интерфейс игры в шашки

В современном мире в многих случаях позволяет повысить точность и уменьшить стоимость работы практика замены человеческой деятельности на рабочих позициях компьютеризированными автоматическими устройствами и системами. Однако такие системы необходимо обслуживать, поэтому необходимо обучать специалистов работе с такими устройствами. Данную задачу выполняют учебные лабораторные стенды, как, например, стенд «Шашки».

В ходе работы на языке Python была разработана игра в шашки реального игрока против экспертной системы. Интерфейс игры представлен на рисунке 1. Полученные ходы передаются на ПЛК

с помощью подключения к OPC UA серверу с помощью специальной библиотеки.

Также в ходе работы была разработана программа управления для контроллера Siemens в среде разработки Simatic Step 7. В ходе разработки был произведен подбор регулятора, который позволяет решить задачу позиционирования манипулятора.

Литература

1. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.Л., Битман А.Р., Донской М.В. Машина играет в шахматы. — М.: Наука, 1983.
2. Донской А.С. Моделирование и расчет пневматических приводов: Учеб. пособие. — СПб.: 2017. — 87 с.
3. Бергер Г. Автоматизация с помощью программ STEP7 LAD и FBD, Издание 2-е переработанное, 2001.

А.Б. Симич, студ.;
рук. М.Ю. Косинский, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА НА ТОЧНОСТЬ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Для обеспечения высокой точности астрономических наблюдений необходимо обеспечить стабилизацию космического аппарата. Для этой задачи используется система стабилизации и ориентации, включающая в себя датчики углового положения аппарата относительно различных ориентиров и датчики угловой скорости. Полученная информация передается исполнительным органам с целью обеспечения необходимого управляющего момента, который выведет космический аппарат в нужное заданное положение.

В настоящее время системы стабилизации, которые применяются на большинстве космических аппаратов, предназначенных для длительной работы в космическом пространстве, используют двигатели-маховики.

Исполнительные устройства с двигателями-маховиками являются эффективными и надежными решениями, обладающими целым рядом преимуществ. Среди них можно выделить прекрасные регулировочные свойства, оптимальные весовые параметры, быстрое время отклика, высокую степень надежности, продолжительный срок эксплуатации (до нескольких лет), минимальное потребление энергии, а также способность обеспечивать высокую точность регулировки до десятых и даже сотых долей угловой секунды.

При разработке системы стабилизации и ориентации космического аппарата двигатель-маховик для упрощения расчетов представляется в виде динамического звена первого порядка [1]. Однако такое представление неполностью отражает его математическое описание.

В работы предложено рассмотреть влияние точности математического описания двигателя-маховика на качество настройки системы стабилизации и ориентации. Для этого проведено исследование работы системы стабилизации с применением математического описания двигателя-маховика разной степени детализации, проведен сравнительный анализ влияния точности представления модели КУДМ на качество разработки ССО.

Литература

1. **Бровкин А.Г.** Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Под редакцией А.С. Сырова — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. — 304 с.

С.Ф. Чакал, студ.; рук. Д.В. Шилин, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КРС НА БАЗЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Машинное зрение — это технологии получения изображений, их обработки и использования полученных данных для решения разного рода прикладных задач без участия человека.

Машинное зрение, хотя широко применяется в различных областях, представляет уникальные возможности и в аграрном секторе. Например, оно может быть эффективно задействовано для автоматизированной идентификации крупного рогатого скота на фермах, обеспечивая точность и оперативность в процессах управления стадом и обеспечения их благосостояния.

Система машинного зрения (для идентификации КРС) представляет собой автоматизированную систему, на вход которой подается изображение хвостовой части КРС (в нашем случае это изображение молочной коровы, изображенной на рис. 1), а на выходе система сообщает нам метку класса КРС из базы данных (номер коровы). Системы машинного зрения, оснащенные высокоточными камерами и алгоритмами обработки изображений позволяют фермерам проводить автоматизированную идентификацию каждого животного на ферме. Это обеспечивает точный мониторинг и учет стада, снижая риск ошибок в процессе идентификации.

В докладе излагается принцип работы данной системы. Также будет приведено описание выбранного способа идентификации КРС и его алгоритм работы.



Рис. 1. Изображение хвостовой части коровы

Литература

1. **W. Li, Z. Ji, L. Wang, C. Sun, X. Yang** Automatic individual identification of Holstein dairy cows using tailhead Images
2. **Официальный сайт Ростех [Электронный ресурс]**. URL:<https://rostec.ru/news/kak-to-rabotaet-mashinnoe-zrenie> (дата обращения: 26.11.2023)

Сюэчунь Ван, асп.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗЛАДКИ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ КОРРЕЛЯЦИИ

Задача обнаружения разладки, то есть, определения момента изменения процесса относительно некоторого ожидаемого характерного поведения, имеет важное значение для обеспечения качества выпускаемой промышленностью продукции. В распространенной постановке задачи обнаружения разладки процесс рассматривается как стохастический, а характерное поведение формулируется в виде характеристик стохастической модели. Родственной обнаружению разладки является задача определения смены режима нестационарного объекта в системе автоматического регулирования [1]. В этой задаче для анализа доступны временные ряды управляющего входа и наблюдаемого выхода. Признак разладки в этом случае будет означать изменение динамических характеристик объекта относительно его модели. Это можно использовать для синтеза адаптивных систем автоматического регулирования [2], обеспечивающих заданное качество управления нестационарным объектом.

В работе исследуется применение функции взаимной корреляции (ФВК) в качестве характеристики динамического поведения объекта. Известно, что для стохастических временных рядов входа и выхода ФВК позволяет оценить параметры линейного процесса авторегрессии скользящего среднего (АРСС). ФВК однозначно связана со спектральной плотностью, которая для линейного объекта может быть рассчитана аналитически. В то же время, вопрос использования ФВК для анализа динамики объекта и в качестве её идентификации при детерминированных входных сигналах систематически не исследовался. Также важно исследовать применение ФВК в случае нелинейного динамического объекта.

Проведенные численные эксперименты для нескольких линейных и нелинейных моделей динамических объектов позволяют установить принципиальную возможность использования ФВК в качестве характеристики динамики объекта, а также сформулировать общий подход к обнаружению разладки модели как устойчиво определяемое изменение вида ФВК.

Литература

1. **Гурина А.О., Елисеев В.Л.** Нейросетевой метод выявления новизны в модели нестационарной динамической системы // Сборник статей по материалам конференции ПАУТС-2019: 2019, Пенза, 237–241.
2. **Теслов К.С.** Адаптивная система автоматического управления технологическим процессом // Материалы конференции АМИТ-2021: 2021, Омск, 10–16.

*С.А. Тимербулатов, Е.А. Андровоса, П.А. Павлов,
В.В. Потёмкин, студенты; рук. М.Л. Артемьева, ст. преп.
(Чукотский филиал СВФУ, Анадырь)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ ВОЗДУХА И КОНТРОЛЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Частое вдыхание углекислого газа может отрицательно повлиять на здоровье человека [1]. Поэтому необходимо часто проветривать помещение, но люди не могут открывать и закрывать при необходимости или просто на просто забывать это делать. Для решения данной проблемы мы предлагаем устройство, которое будет автоматически проветривать помещение и регулировать уровень углекислого газа. Данное устройство может работать самостоятельно без помощи рук человека.

Первым делом, когда газ накапливается в помещении, датчик при определенном времени или уровне углекислого газа, открывает окно и проветривает помещение. И после проветривание, автоматически закрывает окно. Данное устройство предназначено для автоматического проветривания помещения по двум способам: используя требуемое расписания, на основе данных датчика углекислого газа

Устройство крепится на оконную раму и к открываемому окну. Когда устройство подключено будет выбран первый режим, суть которого проветривать помещение через какой-то интервал времени. Для переключения режима на устройстве установлена кнопка и светодиод, обозначающий какой режим запущен. Если светодиод не горит значит запущен первый режим, а если он горит это значит запущен второй режим. Компоненты устройства: arduino, серводвигатель, резисторы, кнопка, модуль часов реального времени, датчик углекислого газа.

Датчики углекислого газа крепятся в помещении. Датчики подают данные в виде сигнал на Arduino. Arduino подает команды исполнительному механизму, серводвигателю. Arduino и серводвигатель крепится на раме окна. Таким образом, в помещении будет обеспечен постоянный контроль углекислого газа, что уменьшит его вред на организм человека.

Литература

1. **Исупова Е.В.** Влияние концентрации углекислого газа в помещении на здоровье и самочувствие человека / Е.В. Исупова // Севергеоэкотех-2012: Материалы XIII Международной молодежной научной конференции. В 6-ти частях, Ухта, 21–23 марта 2012 года. Том Часть IV. — Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2013. — С. 267–270.

А.А. Маврина, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА КЛАССИФИКАТОРОВ EDCA НА ТОЧНОСТЬ ИХ ОЦЕНКИ

В настоящее время нейросетевые методы классификации находят широкое применение во многих сферах деятельности человека, однако часто возникает проблема доверия к результатам работы классификатора по реальным данным. Основным критерием успеха синтеза классификатора является минимизация ошибки на заданном наборе данных. Однако в 2014 году [1] были выявлены специфические ошибки классификации, подрывавшие доверие к надёжности работы нейросети за пределами обучающей выборки. Тогда же был введен термин «сопоставительный пример» (adversarial example) для таких входных данных, точки которых мало отличаются от точек обучающей выборки, однако дают неожиданный результат классификации. Анализ данной проблемы для одноклассового классификатора и предложение по объективной оценке его уязвимости к сопоставительным примерам на основе четырех показателей: Excess, Deficit, Coating, Approx (EDCA) был представлен в [2]. Эти показатели позволяют численно оценить, насколько фактическая область принятия решения классификатора соответствует целевой области, задаваемой обучающими данными.

Для расчёта значений характеристик EDCA в [2] предлагается использовать дискретные приближения объемов областей в пространстве признаков, занимаемых обучающими данными, и данными, получающимися при работе обучающего классификатора. Шаг разбиения пространства признаков на дискретные атомарные ячейки будет влиять на показатели качества. Слишком малый шаг приведет к росту вычислительной сложности расчёта EDCA и проблемам с областями разреженных данных. Большой шаг не даст точной оценки объёма и, следовательно, характеристик EDCA. Очевидно, что есть некоторый оптимальный размер шага дискретного разбиения, для которого показатели качества EDCA будут наиболее полезными и точными.

Проведенные исследования на синтетически сгенерированных данных для нейросетевых одноклассовых классификаторов позволили выявить зависимость точности характеристик EDCA от шага дискретизации.

Литература

1. **Szegedy C. et al.** Intriguing properties of neural networks // ICLR. 2014.
2. **Гурина А.О., Елисеев В.Л.** Эмпирический критерий качества одноклассового классификатора // ИСТ-2021, с. 673–682.

А.В. Шашерина, студ.; рук. П.Е. Ганин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОНВЕЙЕРНОЙ СОТИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

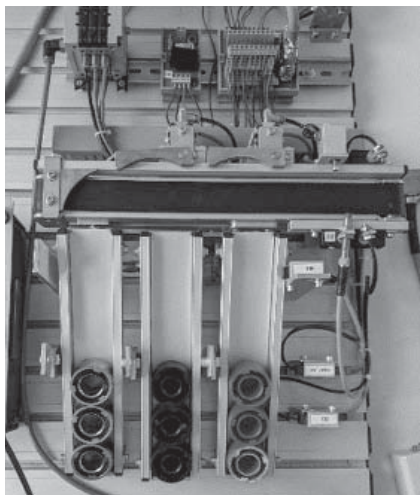


Рис. 1. Стенд «Станция сортировки деталей»

В современном промышленном производстве автоматизация играет ключевую роль в оптимизации процессов и повышении эффективности. Одной из важных задач в области автоматизации является разработка программного обеспечения для управления технологическими процессами.

Конвейерные системы сортировки деталей широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как автомобильное производство, электроника, пищевая промышленность и другие. Эти системы позволяют автоматически перемещать детали по конвейерной ленте и разделять их на группы в соответствии с определенными критериями, такими как размер, форма, цвет или другие параметры.

В результате выполнения работы была разработана программа управления технологическим процессом с использованием ПЛК SIMATIC S7-300 и HMI-панель для мониторинга и управления технологическим процессом, что позволяет повысить уровень автоматизации и контроля технологического процесса, упростить процесс принятия решений и повысить качество работы производства в целом.

Литература

1. **Гуныко А.В.** Системы автоматизации технологических процессов, НГТУ 2017.
2. **Брюханов, В.Н.** Автоматизация производства / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.

Н.К. Никитина, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА НЕЙРОСЕТЕВОГО ОДНОКЛАССОВОГО КЛАССИФИКАТОРА НА КАЧЕСТВО МОДЕЛИ

Одноклассовая классификация представляет собой достаточно перспективный подход машинного обучения, так как не требует разметки обучающих данных. Управление качеством синтезируемого нейросетевого одноклассового классификатора является актуальной задачей.

Рассматривается задача синтеза одноклассового нейросетевого классификатора с архитектурой автокодировщика. Для этого обучающее множество запоминается в нейронной сети благодаря сужению или дропауту в её структуре [1]. Количество нейронов в сужении определяет степень сжатия информации с устранением избыточности. При этом слишком сильное сжатие может привести к снижению качества модели, а недостаточное сжатие — к потере обобщающей способности с запоминанием избыточной информации. Поиск оптимального размера сужения представляет важную задачу при синтезе нейросетевого одноклассового классификатора.

Результатом работы нейросетевого автокодировщика является восстановленный пример, который путем сравнения с входным даёт ошибку реконструкции [2]. Малая ошибка реконструкции означает, что при оптимальном сжатии входной пример близок к примерам из обучающих данных. Большое значение ошибки свидетельствует, что похожие примеры не встречались в обучающей выборке. Порог ошибки реконструкции, при котором входной пример ещё считается распознанным как знакомый можно интерпретировать как границу класса в пространстве признаков, которую «очертил» обученный автокодировщик. Задача обоснованного выбора этого порога также является весьма актуальной и дополняет задачу выбора размера сужения.

В работе рассмотрено влияние двух представленных параметров на качество одноклассового классификатора, измеряемого показателями EDCA [2]. Исследование было проведено на синтетических данных в аналитически заданных областях с различными характеристиками выпуклости, непрерывности и односвязности.

Литература

1. **Маврина А.А., Никитина Н.К., Елисеев В.Л.** Обзор и анализ методов оценки качества и сравнения нейросетевых классификаторов // ПАУТС-2023.
2. **Гурина А.О., Елисеев В.Л.** Эмпирический критерий качества одноклассового классификатора // ИСТ-2021, с. 673–682.

В.А. Ланцев, студ.;
рук. И.С. Чулков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУР СТАЛЕЙ

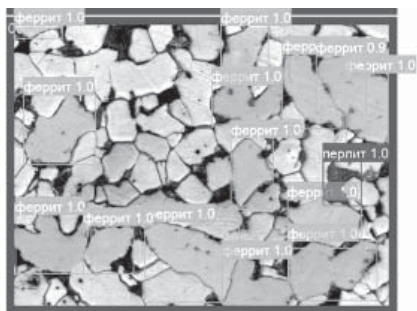


Рис. 1. Микроструктура

в равновесном состоянии. Метод основан на определении доли структурных составляющих, в данном случае феррита и перлита. Определяются величины площадей, занимаемых структурами на микрошлифе с последующим расчетом процентного содержания углерода. Преимуществом такого способа можно выделить простоту и отсутствие необходимости в высокотехнологичном, сложном и дорогом оборудовании (требуется только микроскоп и компьютер), а также скорость получения результата.

Исходными данными являлись фотографии макроструктуры, сделанные с помощью оптического микроскопа Zeiss Observer Z1m с программным обеспечением AxioVision. После этого изображения были вручную размечены в программе LabelMe, после чего сделана обучающая выборка.

В результате работы была получена нейросеть YOLO8, обученная на разных исходных моделях и данных, а также сделаны наблюдения, касающиеся размеров обучающей выборки и точности определения структур.

Литература

1. **Гончаров А.Л.** Оценка геометрических параметров проволок, применяемых в электронно-лучевой наплавке.

*Д.В. Дворядкина, студ.;
рук. П.Е. Ганин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В условиях постоянного технологического развития и стремительных изменений в промышленной сфере, задача точного моделирования и оптимизации автоматизированных технологических производств становится все более актуальной. Использование виртуальных сред моделирования предоставляет уникальные возможности для создания и отладки виртуальных производственных линий с программным управлением, что является фундаментальным шагом в направлении совершенствования производственных процессов.

Программируемый логический контроллер, используемый в данной работе, предоставляет высокоуровневые возможности для симуляции и автоматизации различных производственных процессов. Его гибкость и функциональность позволяют точно моделировать сложные системы управления, эффективно взаимодействуя с различными устройствами и оборудованием. Это открывает перспективы создания виртуальных моделей, охватывающих разнообразные производственные сценарии, начиная от линий сборки и заканчивая процессами управления энергопотреблением.

Исследования направлены на оптимизацию производственных процессов через создание точных виртуальных моделей, способных воспроизводить сложные взаимодействия между оборудованием и контроллерами. Примеры возможных моделей включают в себя автоматизированные линии с множеством сенсоров, манипуляторов и управляемых устройств, что позволяет оценивать и улучшать эффективность системы на этапе проектирования. Такой подход открывает перспективы для создания виртуальных сред, способных эффективно моделировать и тестировать различные сценарии автоматизированных технологических производств, что в итоге может привести к улучшению производственной эффективности и снижению рисков внедрения новых технологий.

Литература

1. **Шилин Д.В., Ганин П.Е.** Программирование промышленных контроллеров Festo. Издательство МЭИ МОСКВА, 2020, 48 с.
2. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ STEP7. — Siemens AG, Департамент техники автоматизации и приводов, 2001 — 605 с.
3. **Хлебенских Л. В.** Автоматизация производства в современном мире / Л.В. Хлебенских, М.А. Зубкова, Т.Ю. Саукова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 16 (150). — С. 308–311.

А.А. Глинский, асп.;
рук. М.Ю. Косинский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Управление космическим аппаратом (КА) осуществляется при помощи бортовой системы управления (БСУ). БСУ решает такие задачи как управление полетом, поддержание требуемой ориентации, управление целевым оборудованием [1].

Учитывая важность решаемых задач, необходимо обеспечить полный контроль функционирования БСУ. Для достижения поставленной цели необходимо анализировать большой объем телеметрической информации (ТМИ), поступающей с КА.

В настоящее время, анализ данных о функционирования КА осуществляется либо при помощи собственных вычислительных средств БСУ, либо путем привлечения оператора наземного комплекса управления. Но вычислительные средства БСУ весьма ограничены и не могут обеспечить полный контроль функционирования КА. Оператор наземного комплекса управления, ввиду большого объема поступающих данных, может принимать решения с задержкой и пропускать отдельные события.

Таким образом, автоматизация анализа поступающей ТМИ представляется крайне актуальной. Перспективным решением данной задачи является применение интеллектуальных технологий, которые уже продемонстрировали впечатляющие результаты во множестве прикладных областей как универсальные классификаторы [2].

В докладе сформулирована постановка задачи анализа данных ТМИ КА в терминах методов машинного обучения, рассмотрено применение методов k -ближайших соседей и методов дерева принятий решений для выполнения классификации различных состояний КА и проанализировано качество полученных решений.

Литература

1. **Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др.** Под редакцией А.С. Сырова. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.
2. **Жерон Орельен.** Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. Пер. с англ. — СПб.: ООО «Альфа-книга»: 2018 — 688 с.: ил. — Парал. тит. англ.

Секция 17

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ Computer-measuring systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Желбаков Игорь Николаевич

Секретарь секции: к.т.н., с.н.с. Лупачев Алексей Алексеевич

Д.С. Евтехова, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ МЕТОДОМ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Из анализа доступных литературных источников [1–2] известны различные цифровые методы измерения среднего квадратического значения. Среди них можно выделить метод, основанный на низкочастотной фильтрации [2]. Преимущества данного метода: возможность измерения как синусоидальных, так и полигармонических сигналов, простота обеспечения высокой точности измерения.

Метод измерения СКЗ с использованием низкочастотной фильтрации основан на применении фильтра низких частот к входному сигналу возведенному в квадрат. Этот фильтр пропускает полезную часть сигнала и подавляет помеху, представляющую собой набор спектральных компонент с частотами, кратными частоте входного сигнала. В рассматриваемой задаче главным преимуществом фильтра скользящего среднего (ФСС) является наличие нулей его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Если частоты возникновения нулей АЧХ совместить с частотами гармоник помехи, то теоретически можно добиться нулевой погрешности. Однако, из-за конечной девиации частоты сети и дискретности порядка фильтра скользящего среднего, невозможно достичь точного соответствия частот с нулевыми значениями АЧХ и частот спектральных компонент помехи.

Для снижения влияния девиации частоты на общую погрешность измерения СКЗ, можно периодически измерять частоту входного сигнала и корректировать порядок ФСС. Это позволяет подстраивать первую частоту режекции фильтра под частоту помехи, достигая максимального ее подавления. В работе с помощью программного пакета Simulink предложена имитационная модель измерительного преобразователя СКЗ на основе изложенного выше метода измерения. Рассмотрены особенности применения фильтра скользящего среднего, получена аналитическая зависимость для расчёта оценки предельной погрешности. Выполнен анализ влияния параметров сигнала и измерительной системы на погрешность измерения СКЗ.

Литература

1. **A.E. Emanuel** “Powers in nonsinusoidal situations — a review of definitions and physical meaning,” IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, issue 3, pp. 1377–1389, 1990.
2. **Katerina A. Suhanova; Andrey N. Serov.** “Application of Simulink for Simulation of the RMS Measurement Method Based on Low-pass Filtration,” 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2020, pp. 1–6.

*Д.П. Орлов, студ.; А.В. Хныкин, к.т.н.; рук. Р.Е. Невский, к.т.н., доц.
(ФГУП «ВНИИА» им. Н.Л. Духова, г. Москва)*

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ

В аппаратуре разработки ФГУП «ВНИИА» используется большое количество электрических компонентов, в том числе конденсаторов различных типов, как внешней поставки, так и собственной разработки. На этапах входного и операционного контроля они проходят различные этапы проверки, где основным является контроль электрических параметров. Для увеличения производительности контрольных операций и сокращения влияния человеческого фактора необходимо полная или частичная автоматизация данного процесса с разработкой контрольно-измерительной системы. Данная система должна выполнять следующие функции: измерение емкости и сопротивления изоляции конденсаторов, хранение результатов в общей базе данных, анализ результатов проверки и вывод протокола испытаний с заключением о соответствии требованиям.

Целью работы является разработка и внедрение автоматизированной контрольно-измерительной системы конденсаторов для повышения качества выпускаемой продукции.

В ходе проекта была разработана контрольно-измерительная система, состоящая из двух основных приложений для ЭВМ:

- «Контрольно-измерительная система конденсаторов автоматизированная» предназначена для автоматизированного измерения параметров, формирования протокола испытаний и записи результатов испытаний в общий массив данных;
- «База данных результатов операционного контроля конденсаторов» предназначена для просмотра результатов испытаний из массива данных и анализа результатов испытаний.

В ходе работы были разработаны:

- программные коды считывания данных с измерителя иммитанса E720 и терраомметра Agilent 4339b;
- алгоритм анализа качества контакта измерительных щупов с измеряемым конденсатором;
- последовательность действий оператора, позволяющая оптимизировать процесс измерения;
- звуковая и световая индикация для помощи оператору;
- алгоритм анализа соответствия параметров техническим требованиям.

По результатам тестирования системы она была внедрена в серийный процесс выпуска аппаратуры ФГУП «ВНИИА».

А.В. Павлович, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА НЧ-ФИЛЬТРАЦИИ

Изучение доступной научной литературы предоставляет информацию о различных численных методах для измерения активной мощности. Среди них можно выделить метод, основанный на использовании низкочастотной фильтрации [1], как один из наиболее перспективных. Применение этого метода включает последовательное определение мгновенной мощности и подавление переменных во времени её компонентов с помощью низкочастотного фильтра.

Метод подходит для измерения активной мощности как синусоидальных, так и полигармонических сигналов. В случае синусоидального сигнала фильтр должен быть настроен таким образом, чтобы успешно выполнять подавление компоненты активной мощности с частотой в два раза превышающей частоту входного сигнала. Для полигармонических сигналов переменная во времени составляющая мгновенной мощности имеет более сложную природу и для её подавления необходим фильтр с частотой среза не более значения частоты входного сигнала.

Анализ требований к параметрам НЧ-фильтра позволяет установить, что достаточным будет выполнение условий для случая полигармонических входных сигналов, поэтому АЧХ НЧ-фильтра должны быть равны нулю на частотах, кратных основной частоте входного сигнала. Данным свойством обладает, фильтр скользящего среднего или интеграторы-гребенчатый фильтр, поэтому их применение оправдано в решении данной задачи. Погрешность измерения активной мощности определяется коэффициентом подавления фильтра для переменных компонент мгновенной мощности. Реальный фильтр, однако, не обладает идеальной равномерностью в полосе пропускания и безусловным подавлением в полосе заграждения. Из-за этого возникает погрешность, вызванная неполным подавлением помех и передачей полезного сигнала с неединичным коэффициентом.

В статье рассмотрено влияние параметров фильтра на погрешность измерения активной мощности. С помощью программного пакета Matlab предложена имитационная модель моделирования рассмотренного метода измерения. Отдельно рассмотрены вопросы применения фильтра скользящего среднего и интеграторы-гребенчатого фильтра.

Литература

1. **A.N. Serov; N.A. Serov; A.A. Lupachev**, "The Application of Digital Filtration for the Active Power Measurement". IEEE Conference on Electrical Engineering (EExPolytech), 2018.

В.В. Коршунов, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Мгновенная мощность — это периодическая функция с периодом:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = P(1 - \cos 2\omega t) - Q \sin 2\omega t, \quad (1)$$

где P это активная мощность, Q — реактивная мощность, а ω — угловая частота напряжения и тока. Активная энергия может быть рассчитана на полупериоде напряжения $[0, T/2]$ следующим образом:

$$E_A = P \cdot \frac{T}{2} = P \cdot \frac{\pi}{\omega} = \int_0^{T/2} p(t) \cdot dt. \quad (2)$$

Данное преобразование исключает компонент $(-P \cos 2\omega t - Q \sin 2\omega t)$ из $p(t)$. Реактивная энергия рассчитывается на том же интервале так:

$$E_R = \int_0^{T/2} U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot dt = Q \cdot \frac{\pi}{\omega} = Q \cdot \frac{T}{2}. \quad (3)$$

Известно, что существует преобразование [1], позволяющее исключить компонент $P(1 - \cos 2\omega t)$ из $p(t)$. На интервале $[0, T/2]$, где 0 и $T/2$ это точки пересечения нуля для напряжения, функция $P(1 - \cos 2\omega t)$ симметрична относительно точки $t = T/4$. Получается, что можно записать следующее выражение для параметра электрической энергии:

$$E_X = \int_{T/4}^{T/2} p(t) \cdot dt - \int_0^{T/4} p(t) \cdot dt = 2 \cdot \frac{Q}{\omega} = \frac{2}{\pi} \cdot Q \cdot \frac{T}{2}. \quad (4)$$

Следовательно, $E_R = \pi/2 \cdot E_X$. Если $0 \leq t_1 < t_2 < T/4$, где 0 и $T/2$ это точки пересечения нуля для напряжения, то получим следующее выражение:

$$E_R = \frac{\pi}{\cos 2\omega t_1 - \cos 2\omega t_2} \cdot \left(\int_{T/2-t_2}^{T/2-t_1} p(t) \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt \right). \quad (5)$$

Алгоритм измерения реактивной энергии имеет следующий вид:

- 1) Получить отсчёты напряжения U_K и тока I_K .
- 2) Обнаружить моменты пересечения нуля для напряжения с помощью выражения: $U_K \cdot U_{K-1} < 0$.
- 3) Сформировать массив отсчётов мощности между прилежащими точками пересечения нуля для напряжения.
- 4) Рассчитать реактивную энергию с помощью выражения (5).
- 5) Повторять шаги от 1) до 4) для следующих полупериодов напряжения.

В качестве дополнительных исследований для повышения точности данного метода было рассмотрено применение различных методов цифрового интегрирования.

Литература

1. **Bogdan Spasojevic**. “The Time Domain Method for Power Line Reactive Energy Measurement” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, Vol. 56, No. 5.

А. Даваахуу, асп.; рук. В.Ф.Очков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ИМЕНОВАННЫХ ВЕЛИЧИН: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

В настоящее время ведение инженерных, научно-технических и технико-экономических расчетов на компьютере должно опираться не просто на числовые, а на именованные величины [1–3]. Это упрощает и ускоряет расчеты, снижает вероятность ошибки в них, повышает «читабельность» расчетов. Этим инструментарием оборудованы такие программы, как Mathcad, Maple Flow, Python (приложение pint), SMath и др. Однако подобные вычислительные средства требуют существенной доработки с подключением к ним, помимо прочего, элементов искусственного интеллекта (ИИ). Авторами данной статьи делается разбор ряда примеров.

На рис. 1 показано, как в среде отечественной физико-математической программы SMath в расчет вводится переменная (идентификатор) с именем *v*.

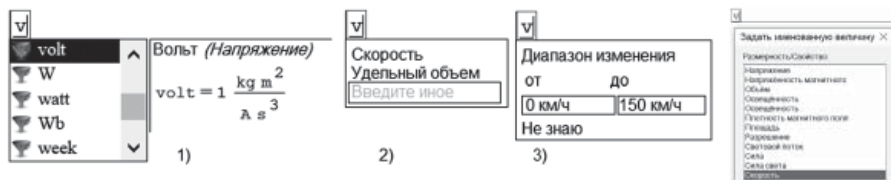


Рис. 1. Ввод именованной (физической) величины

Приведенные методы попутно могут выполнять и образовательные функции: посредством выпадающих подсказок и других встроенных в физико-математические пакеты инструментов для обучения пользователей правильной работы с физическими, химическими, экономическими, информационными и прочими величинами. В плане разработки интеллектуальной версии данной системы планируется в ближайшее время разработать онтологию предметной области и на ее основе модуль выпадающих подсказок и прочих элементов интерфейса для пользователя по выбору расчетов для решения его задачи.

Литература

1. **Сена Л.А.** Единицы физических величин и их размерности. — М.: Наука, 1977. — 336 с.
2. **Очков В.Ф.** Физические и экономические величины в Mathcad и Maple. (Серия «Диалог с компьютером»). М.: Финансы и статистика, 2002.
3. **В.Ф. Очков, К.А. Орлов, А. Даваахуу.** Интеллектуальная компьютерная метрология // Законодательная и прикладная метрология. № 6. 2022.

А.Э. Харинов, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСТРОЙКИ ВРЕМЕНИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время для измерения активной мощности применяют цифровые методы измерения. Среди методов анализа во временной области можно выделить метод, основанный на усреднении мгновенной мощности [1].

Для цифрового метода измерения активная мощность периодического сигнала определяется следующим соотношением:

$$P = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u[n] \cdot i[n] = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} p[n], \quad (1)$$

где $u[n]$, $i[n]$, $p[n]$ — дискретные отсчеты напряжения, тока и мгновенной мощности соответственно, а N — число измеряемых отсчетов.

Так как частота входного сигнала неизвестна, то не представляется возможным выбрать число измеряемых отсчетов таким образом, чтобы время измерения было кратно периоду сигнала. Отсюда возникает относительная погрешность измерения активной мощности:

$$\delta P = - \frac{\cos((N-1)\omega + 2\alpha + \varphi) \sin(\omega N)}{N \sin(\omega) \cos(\varphi)}, \quad (2)$$

где ω — значение угловой частоты входного сигнала, α — начальная фаза напряжения, φ — фазовый сдвиг между напряжением и током.

Как видно из (2) уменьшить погрешность можно путем оптимальной подстройки начальной фазы:

$$\alpha_{opt} = 0,25\pi - 0,5((N-1)\omega + \varphi) \pm 0,5\pi k, \quad (3)$$

Значение начальной фазы можно изменять путем изменения начального отсчета с которого выполняется усреднение с сохранением общего числа отсчетов, тогда погрешность измерения примет следующий вид:

$$\delta P(n_0) = - \frac{\cos((N-1)\omega + 2(\alpha + \omega n_0) + \varphi) \sin(\omega N)}{N \sin(\omega) \cos(\varphi)}, \quad (4)$$

где n_0 — номер отсчета начала измерения (соответствует α_{opt}).

Учитывая гармонический характер зависимости $\delta P(n_0)$ в дальнейшем значении погрешности может быть снижено путем усреднения результатов усреднения активной мощности или применением пост-фильтрации.

Литература

1. **Andrey N. Serov**, «Approaches to Reducing of the Active Power Measurement Error for a Method Based on Averaging of Instantaneous Power», 21st Symposium on Power Electronics (Ee2021), pp. 1-7, 2021.

Е.А. Будкина, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ ДЛЯ МЕТОДА УСРЕДНЕНИЯ КВАДРАТОВ ОТСЧЁТОВ

В настоящее время одним из наиболее информативных параметров сигналов электрических сетей является среднее квадратическое значение (СКЗ). Существует ряд цифровых методов [1–2] для измерения этого параметра. Среди них самыми популярными методами можно считать метод, основанный на усреднении квадратов отсчётов и метод, основанный на низкочастотной фильтрации [2]. Оба метода подходят для измерения как синусоидальных, так и полигармонических сигналов. В настоящей публикации рассмотрим метод, основанный на усреднении квадратов отсчётов особенности его реализации и способы снижения погрешности.

Принцип метода усреднения квадратов отсчётов состоит в идеи восстановления дискретного входного сигнала с помощью полинома нулевого порядка и последовательного применения определения СКЗ.

Аналитическая формула погрешности измерения СКЗ для случая синусоидального сигнала с частотой ω , начальной фазой α имеет вид:

$$\delta_x = -\frac{\cos((N-1)\omega T_s + 2\alpha) \sin(\omega N T_s)}{2N \sin(\omega T_s)}, \quad (1)$$

где ω — общее число отсчётов; T_s — шаг дискретизации.

Из формулы (1) видно, что для снижения погрешности можно использовать два подхода: через подстройку числа отсчётов обеспечить $\sin(\omega N T_s)=0$ или обеспечить равенство нулю множителя $\cos((N-1)\omega T_s + 2\alpha)$ через подстройку начальной фазы. Оба подхода теоретически приводят к нулевому значению погрешности измерения СКЗ.

Ограничение на применение обоих подходов накладывает конечная девиация частоты входного сигнала и отличие входного сигнала от синусоидального. В работе рассмотрены реализации обоих обозначенных способов снижения погрешности. Получены аналитические зависимости для погрешности от конечной девиации частоты, конечного числа отсчётов, конечной точности подстройки начальной фазы. С помощью программного пакета Simulink построена имитационная модель обоих подходов для снижения погрешности.

Литература

1. **Andrey N. Serov; Nikolay A. Serov; Petr K. Makarychev.** «Comparative Analysis of RMS Measurement Methods Based On the Averaging of the Squares of Samples,» 2020 30th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2020.
2. **Andrey N. Serov; Nikolay A. Serov; Vadim A. Loginov.** «Application of the Method based on Averaging of the Square of Samples for the RMS Measurement of Polyharmonic Signals,» 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2020.

А.И. Нуртдинова, студ.;
рук. К.А. Иваненко, ассист. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПО ПЕРЕХОДУ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ НОЛЬ

Метод, основанный на определении переходов сигнала через ноль, является наиболее распространенным среди методов измерения частоты во временной области. Период напряжения — время одного полного колебания, определяемое как время между переходами через заданный уровень в выбранном направлении. В качестве значения уровня целесообразно выбрать ноль, так как это позволяет наблюдать наибольшую скорость изменения синусоидального напряжения и основной компоненты полигармонического напряжения. Событие перехода через ноль определяется по изменению знака напряжения (в работе рассматривается переход с отрицательного на положительный).

Интервал измерения состоит из m периодов напряжения электросети. Для определения частоты запишем уравнение:

$$t_{cz,m} - t_{cz,0} = mT_1 = NT_s + \Delta t_0 - \Delta t_m, \quad (1)$$

где $T_1 = 1/f_1$ — период основной компоненты входного напряжения; N — число шагов дискретизации на i -ом интервале измерения; $t_{cz,0}$, $t_{cz,m}$ — время первого и последнего пересечения напряжением нуля за рассматриваемое измерительное окно; Δt_0 , Δt_m — временные интервалы между первым переходом напряжения через ноль и первым положительным отсчетом напряжения соответственно на i -ом и $(i+1)$ -ом интервалах измерения частоты.

Частота основной компоненты напряжения f_1 , вычисляется по формуле:

$$f_1 = \frac{m}{t_{cz,m} - t_{cz,0}} = \frac{mf_s}{N + \eta_0 - \eta_m} = \frac{mf_s}{N + \eta}, \quad (2) \quad \eta = \eta_0 - \eta_m = \frac{\Delta t_0}{T_s} - \frac{\Delta t_m}{T_s}, \quad (3)$$

где η_0 , η_m — значения поправок к N , учитывающие ненулевые значения Δt_0 , Δt_m ; $\eta = \eta_0 - \eta_m$ — суммарное значение поправок; f_s — частота дискретизации.

Среди недостатков данного метода можно выделить возможную зависимость погрешности измерения от наличия гармоник и шумов во входном сигнале а также продолжительное время измерения. Выполнено исследование влияния погрешностей квантования и линейности АЦП на погрешность измерения частоты при применении данного метода. С помощью программного пакета Simulink построена имитационная модель метода, найдены значения абсолютной и относительной погрешностей измерения частоты.

Литература

1. А.Н. Серов «Разработка и исследование прибора для измерения показателей качества электроэнергии с повышенной точностью», 2016 г.
2. А.Н. Серов, А.А. Шадохин «Сравнительный анализ цифровых методов измерения частоты в системе электроснабжения».

*С.А. Антонов, И.А. Ногеров, студенты; В.В. Пойда, асп.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА НАГРЕВА ОБРАЗЦА

Средства измерения коэффициента теплопроводности (ИТП) на основе стационарного метода в силу известных причин [1–2] нашли широкое распространение при построении измерителей для исследования теплофизических свойств (ТФС) теплоизоляционных материалов (ТС). Для достоверного измерения ТФС ТС необходимо тщательно контролировать процесс установления стационарного теплового режима (КПСТР) через испытуемый образец в ходе измерительного эксперимента. Требования к КПСТР изложены в стандартах, например, в ГОСТ 7076-99 и ГОСТ 12170-2021 и других отечественных и зарубежных стандартах. Эти требования основаны на измерениях установившегося значения температуры на поверхностях образца в динамическом режиме и контроле динамической погрешности установления температуры по «составному интервальному (динамическому [1]) критерию» (СИК). Однако рекомендации в указанных стандартах различны в количественном и качественном отношении. Исследований по целесообразному выбору параметров СИК в известных источниках отсутствуют.

Для обоснования требований была изготовлена установка для исследования стационарного теплового режима нагрева образца. Для достижения стационарного состояния режима измерения исследуемого объекта, требуется от 3 до 5 интервалов наблюдения (ИН). Был проведён анализ известных структур подобных установок и выбрана традиционная структура установки [2].

Экспериментально установлено, что разработанная установка обеспечивает постоянный нагрев образца продолжительностью более одного часа, поддерживая температуру передней поверхности на уровне 100 ± 5 °С. Это позволяет производить теплотехнические измерения при экспериментальных исследованиях составных критериев стационарного теплового режима нагрева образца и при этом оценку динамической погрешности измерения установившегося значения.

Литература

1. **Азима Ю.И.** Два подхода к проектированию нестационарных методов измерения теплофизических свойств и теплового потока // Известия Тульского государственного ун-та. Технические науки. 2014. Вып. 2. — С. 134–143.
2. **Фокин В.М., Чернышов В.Н.** Неразрушающий контроль теплофизических характеристик строительных материалов. / — М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 212 с.

С.А. Подобуев, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА ПО ПЕРЕХОДУ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ НУЛЬ

Частота сигнала является одним из наиболее важных показателей качества электроэнергии. Помимо этого, она определяет точность измерения большинства электрических параметров. Известно, что сигнал электрической сети не является чисто синусоидальным, по этой причине актуален поиск и разработка алгоритмов измерения частоты полигармонических сигналов. Одним из таких методов является метод по переходу сигнала через нуль.

Основная идея метода состоит в том, что в течении интервала времени подсчитывается m моментов времени пересечений сигналом нулевого значения. Временной интервал между первым и последним переходом пропорционален периоду сигнала. Момент перехода определяется по знаку произведения двух соседних отсчётов: если оно отрицательно, то переход есть. При таком подходе моментом перехода сигнала через нуль считается момент выборки ближайшего к нулю отсчёта, что приводит к тому, что абсолютная погрешность измерения периода не превышает шага дискретизации. Одним из методов снижения данной погрешности является линейризация отсчётов сигнала вблизи перехода через нуль. Существует иной подход, связанный с применением метода наименьших квадратов (МНК). Отметим, что серьёзной проблемой метода является его чувствительность к шуму. Для устранения недостатка используют зону нечувствительности: после определения перехода сигнала через нуль в течении времени $T_{\text{ч}} > 0.5T$ моменты перехода через нуль не фиксируются.

Для исследования рассматриваемого метода была построена имитационная модель с помощью программного пакета Matlab. Был рассмотрен классический метод, модификация линейной аппроксимацией и аппроксимация методом наименьших квадратов (МНК). Было проведено измерение синусоидального сигнала и сигнала с наложенным равномерным и нормальным шумом. В результате подход, основанный на применении МНК показал наибольшую точность. Получены зависимости погрешности от девиации частоты сигнала, частоты дискретизации, времени измерения, а также от количества отсчётов, применяемых для аппроксимации МНК.

Литература

1. **Duric; Z.R. Durisic.** «Frequency measurement in power networks in the presence of harmonics using fourier and zero crossing technique,» 2005 IEEE Russia Power Tech, Year: 2005.
2. **К.А. Иваненко, А.Н. Серов.** Применение метода по переходам сигнала через нуль для измерения частоты сигналов реальных электрических сетей, южно-сибирский научный вестник / № 2 (36) / 2021.

*С.С. Калинина, С.А. Антонов, студенты; В.В. Пойда, асп.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ СОСТАВНОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Анализ научно-технической литературы позволяет сделать вывод о широком распространении критериев интервального вида (КИВ) определения момента наступления установившегося (стационарного) значения физических величин различной природы [1–2] при испытаниях сложных объектов (СО) различного назначения. Классификация этих критериев приведена в работе [3]. Согласно классификации следует выделять две группы КИВ в зависимости от количества интервалов наблюдения (ИН) за переходным процессом: традиционные КИВ с одним ИН (ТКИВ) и составные КИВ (СКИВ), которые проводят анализ приращений на нескольких непрерывающихся ИН.

Несмотря на то, что СКИВ, рекомендуются к применению во многих известных отечественных и зарубежных стандартах для испытаний сложных объектов, например, ГОСТ 3484.2-88, ГОСТ 7076-99, ГОСТ 12170-2021, IEC 60076-2:2011, к настоящему времени эти критерии не изучены. Исследования ТКИВ позволили найти ограничение на применение КИВ и привели к разработке робастных алгоритмов-критериев, которые гарантируют достижения стационарности при значительной априорной неопределённости динамических свойств СО.

Задачами настоящих исследований являются:

- показать эффективность СКИВ при тепловых испытаниях СО;
- обосновать целесообразность применения рекомендуемого в стандартах числа ИН для достижения стационарного состояния режима измерения исследуемого объекта.

При проведении исследований критериев используется модель измерительной цепи в виде динамического звена первого порядка.

Литература

1. **J.W. Welch.** Assessment of Thermal Balance Test Criteria Requirements on Test Objectives and Thermal Design. / 46th International Conference on Environmental Systems, 10–14 July, 2016. Vienna, Austria. — 13 p.
2. **Бехтин Ю.С., Лупачев А.А., Логинов В.А., Еличева Е.А., Пецинярж А.Р.** Интервальный критерий окончания переходного процесса в измерительной цепи при испытаниях. // 7-я МНТК «Измерения и испытания в судостроении и смежных отраслях Судометрика-2018» / ред. В.А. Грановский. — СПб.: «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 15–17.10.2018. — С. 44–47.
3. **Zdenko Godec, Vjenceslav Kuprešaniin.** Temperature rise of power transformers: commons and proposals to IEC 60076-2:2011 // 3rd International Colloquium Transformer Research and Asset Management, October 2014. — 10 c.

Г.М. Веселов, студ.; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Во многих современных исследованиях проводятся измерения с использованием средств измерений (СИ) в динамическом режиме [1]. В частности, при испытаниях сложных объектов используют детерминированный единичный ступенчатый сигнал для определения переходной характеристики. При этом считается [2], что СИ находится в наиболее тяжелом случае, в смысле проявляемых погрешностей. Наиболее критичным является переход от переходного процесса к установившемуся (стационарному) значению сигнала. Для минимизации погрешностей используют специальные критерии, которые облегчают разделение этих режимов измерения [3].

Примером таких испытаний могут служить исследования теплового баланса в космическом аппарате, выполненные в работе [4].

Известные критерии используют текущую информацию о процессе и основаны на анализе производных сигнала [5] или их приращений [6]. Второй вид критериев получил название динамические или интервальные критерии, так как последние принимают решение о наступлении стационарного режима не в момент измерения и на интервале наблюдения, в границах которого проводится сравнение величины текущего приращения с допускаемым значением.

Примером данного критерия может служить отечественный стандарт по испытаниям автоматических космических аппаратов [7], который задаёт допускаемые параметры приращения сигнала по времени и уровню.

Литература

1. **Грановский В.А.** Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 224 с.
2. **Шестаков А.Л.** Методы теории автоматического управления в динамических измерениях: монография / Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. — 257 с.
3. **J.W. Welch.** “Assessment of Thermal Balance Test Criteria Requirements on Test Objectives and Thermal Design.” // 46th International Conference on Environmental Systems, 0–14 July, 2016. Vienna, Austria. — 13 p.
4. **Викулов А.Г.** Математическое моделирование теплообмена в космических аппаратах // Вестник Концерна ВКО “Алмаз-Антей”, № 2, 2017. С. 61–78.
5. **S.L. Rickman,** “A Physics-Based Temperature Stabilization Criterion for Thermal Testing.” 25th Aerospace Testing Seminar, October 2009. — 22 p.
6. **E. Colizzi.** “Thermal Balance Testing: A Rigorous Theoretical Approach to Stabilization Criteria Based on Operative Re-Definition of Thermal Time Constant.” AIAA 2012-3405, 42nd International Conference on Environmental Systems, 15–19 July 2012. San Diego, California. — 16 p.
7. **ГОСТ Р 56469-2015.** Аппараты космические автоматические. Термобалансные и термовакуумные испытания / М.: Стандартинформ, 2015. — 12 с.

И.И. Шодиев, студ.; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ОПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

С развитием технологий обработки сигналов возрастает потребность в эффективных методах обнаружения экстремумов в импульсных измерительных сигналах (ИИП). Определители экстремумов (ОЭ) предоставляют широкий спектр применения в области электроники, связи. Принципы построения аналоговых определителей экстремумов сигнала были изложены в работе [1]. В статье выделены восемь задач, которые автоматически решают ОЭ в информационно-измерительных системах.

Однако, не менее интересно с практической точки зрения использование методов обнаружения экстремумов при решении задач в области неэлектрических измерений. При этом подобные измерители используются не только для фиксации и измерения экстремальных значений сигналов, но и для измерения моментов появления экстремума сигнала с заданной погрешностью. Из обширной области подобных измерений выделим измерения связанные с тепловым неразрушающим контролем и диагностикой дефектов в сложных изделиях.

При импульсном нагреве поверхности образца изделия наблюдается температурный отклик на обеих поверхностях пластины [2]. Причём импульс на задней поверхности значительно отстаёт от температурного импульса на передней поверхности. Этот факт был использован в исследованиях, результаты которых отражены в работе [3, 4], в которой определены зависимость глубины залегания дефекта внутри контролируемого изделия. в зависимости от полной толщины контролируемого изделия.

Однако в патенте [5] не определён способ выделения экстремальных сигналов с заданной динамической погрешностью и измерения времени наступления информативных сигналов. Задача настоящих исследований состоит в выборе наилучшего метода цифровой обработки разнесённых в пространстве и времени сигналов.

Литература

1. Циделко В.Д., Иванов Б.Р. Принципы построения определителей экстремумов сигнала // Измерения, контроль, автоматизация, № 1 (9), 1977. — С. 16–31.
2. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / Москва : Спектр. 2009. — 544 с.
3. Каледин В.О., Вячкин Е.С., Будадин О.Н, Козельская С.О. Исследование возможности теплового контроля конструкций из полимерных материалов при нагреве внутренним источником // Контроль. Диагностика. 2019. № 5. — С. 26–31.
4. Каледин В.О., Вячкин Е.С., Будадин О.Н., Козельская С.О. Экспериментальные исследования ультразвуковой тепловой томографии (УЗ-термотомографии) композитных материалов // Контроль. Диагностика. 2019. № 6 — С. 58–62.
5. Патент RU 2 686 498. Будадин О.Н., Кульков А.А., Козельская С.О., Каледин В.О., Вячкин Е.С. Способ ультразвуковой термотомографии и устройство для его осуществления / МПК G01N 25/72. Оpubл. 29.04.2019, Бюл. № 13.

Секция 18

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Non-destructive control and diagnostics

Председатель секции: д.т.н., доцент Лунин Валерий Павлович

Секретари секции: Максимова Александра Алексеевна

*С.С. Баташова, студ.; рук. А.В. Гурылева, к.т.н., ст. преп.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЛИСТЬЕВ И СОДЕРЖАНИЕМ В НИХ ХЛОРОФИЛЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ

Для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур важен постоянный мониторинг их состояния с целью обеспечения оптимальных условий для их роста. Особую роль в жизни растительного организма играют фотосинтетические реакции, происходящие в хлоропластах [1], поэтому важным показателем здоровья растения является концентрация хлорофилла в его листьях. Для её определения используются различные методы, в том числе измерение флуоресценции, которая непосредственно связана с процессом фотосинтеза. Полевые измерения флуоресценции хлорофилла позволяют проводить портативные флуориметры, отечественной реализации которых на сегодняшний день не представлено.

Целью работы является определение зависимости между спектром флуоресценции и содержанием хлорофилла в листьях, что позволит выработать требования к прибору для неинвазивного измерения концентрации хлорофилла в полевых условиях. Для достижения поставленной цели было установлено влияние характеристик возбуждающего излучения, а также определены длины волн, которые обеспечивают получение линейной модели связи между содержанием хлорофилла и интенсивностью флуоресценции с наименьшей относительной ошибкой. Измерения спектров флуоресценции листьев растений проводились с использованием лабораторного спектрофлуориметра. Для определения эталонных концентраций хлорофилла использовался спектрофотометрический метод, в рамках которого концентрация определяется по показателям оптической плотности экстракта. На основе полученных данных проведен подбор элементов конструкции для создания компактного полевого флуориметра.

Литература

1. **Калмацкая О.А.** Флуоресцентные показатели листьев растений: влияние условий освещения и обработки физиологически активными веществами.: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 03.01.02 / Калмацкая Олеся Алексеевна; науч. рук. В.А. Караваяев; МГУ. — Москва, 2017. — 97 с.

А.А. Золотухина, асп.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ И КОРРЕКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРОМ

Видеоспектральные системы получили широкое распространение в задачах неразрушающего контроля [1] благодаря возможности анализа с их помощью как пространственных, так и спектральных характеристик объекта исследования. В рамках разработки аппаратных решений критически важным является методологическое обеспечение, позволяющее получить данные, свободные от искажений прибора и влияния освещения. Отсутствие унифицированного метода калибровки пространственно-спектральных данных приводит к необходимости учета всех факторов, влияющих на их регистрацию с помощью разработанного прибора.

Целью работы является разработка методики калибровки данных видеоспектрометра, построенного по схеме регистрации изображений с использованием фильтрации в отдельных оптических каналах. Для получения достоверных данных необходимо проведение предварительной калибровки, в которую входит коррекция шума темнового тока, эффектов виньетирования, высокочастотных шумов, нелинейности отклика приемника и совмещение спектральных изображений. Радиометрическая коррекция, необходимая для получения пространственного распределения спектрального коэффициента отражения $\rho(x, y, \lambda)$, реализована эмпирическим методом [2], в рамках которого с помощью спектральных изображений тестобъектов определяется зависимость между дискретными значениями и спектрами, измеренными в лабораторных условиях. Методика апробирована на изображениях цветовой мишени, полученных в диапазоне 300–1000 нм с шагом 50 нм. Относительная ошибка определенных значений коэффициента отражения составила 4%, что свидетельствует о возможности надежного восстановления спектральных характеристик объекта с помощью видеоспектрометра.

Литература

1. **Sassi P., Tripicchio P., Avizzano C.A.** A smart monitoring system for automatic welding defect detection // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019. V. 66. № 12. P. 9641–9650.
2. **Pu R.** Hyperspectral remote sensing: Fundamentals and practices // Hyperspectral Remote Sensing: Fundamentals and Practices. CRC Press, 2017. P. 1–466.

Г.В. Нестеров, студ.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ КЛУБНИКИ

Клубника, как крупноплодное растение, подвержена быстрому ухудшению качества после сбора. Основными факторами, влияющими на состояние плодов клубники, являются изменения в их химическом составе, которые проявляются в изменении внешнего вида. Поэтому бесконтактное и быстрое определение качества плодов клубники является важной задачей для сельского хозяйства.

Гиперспектральная визуализация позволяет не только качественно оценивать состояние плодов клубники, но и формировать количественные критерии. Анализ гиперспектральных данных позволяет извлекать спектры отражения в каждом пикселе изображения. Спектральные характеристики клубники могут содержать информацию о содержании воды, сахаров, антиоксидантов, аскорбиновой кислоты и других компонентах, важных для определения качества плодов и срока их годности. Целью данной работы является исследование возможности применения гиперспектральной визуализации для бесконтактной оценки качества клубники.

Регистрация гиперспектральных изображений плодов клубники проводилась с использованием акустооптического видеоспектрометра видимого диапазона. Съемка проводилась каждый будний день в течении трех недель. Регистрировались как характеристики поверхностного слоя, так и срезов, что позволяет отслеживать деградацию плодов на разных этапах хранения. После регистрации проводилась цифровая обработка, включающая фильтрацию, нормировку и выделение плодов клубники от фона, и построением усредненных по выделенным областям спектров отражения.

Результаты эксперимента показали устойчивое снижение интенсивности отраженного излучения в диапазоне длин волн 600–650 нм. При должной пространственно-спектральной и радиометрической калибровке это позволит сформировать количественные критерии состояния и срока годности плода. Это может объясняться изменением в химическом составе плодов клубники в зависимости от дня хранения [1], что свидетельствует о значительном потенциале гиперспектральной визуализации для оценки качества плодов клубники.

Литература

1. **Ktenioudaki A. et al.** A decision support tool for shelf-life determination of strawberries using hyperspectral imaging technology // Biosyst Eng. Academic Press, 2022. V. 221. P. 105–117.

Е.В. Гарнышова, асп.;
рук. Е.В. Измайлова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

РАСЧЕТ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА С РАЗНЫМИ ВИДАМИ ОТЛОЖЕНИЙ

От состояния поверхностей нагрева теплообменного оборудования зависит эффективность его работы. Загрязнения таких поверхностей различными отложениями резко снижают коэффициент теплопередачи, что приводит к значительному увеличению расхода тепла и увеличению гидравлического сопротивления.

Для выявления зависимости собственных частот колебаний от толщины и плотности отложений проведено моделирование частот колебаний пластины из структурной стали размерами: длиной 400 мм, шириной 160 мм и толщиной 2 мм, в программном комплексе COMSOL Multiphysics. С помощью этой программы моделируются конструкции, устройства и процессы во всех областях инженерных, производственных и научных исследований, можно анализировать как отдельные, так и взаимосвязанные физические процессы [1]. В качестве отложений были взяты следующие оксиды: кремния, кальция, магния, железа.

В таблице 1 приведены результаты расчета некоторых частот колебаний пластины с разными видами отложений в COMSOL Multiphysics на примере 10 моды.

Таблица 1. Результаты расчета

Вид отложений	Плотность (г/см ³)	Толщина отложений, мм				
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
SiO ₂	2,65	545,3	579,59	634,21	674,72	750,21
CaO	3,37	564,78	624,58	681,86	765,1	862,27
MgO	3,58	694,14	833,72	1007,6	1184,4	1361,5
Fe ₂ O ₃	7,8	1020,6	1231,3	1485,4	1736,5	2011,3

По данным видно, что с увеличением толщины и плотности отложений увеличиваются собственные частоты колебаний пластины.

Ранняя и своевременная диагностика оборудования на наличие отложений позволяет избежать дорогостоящие капиталовложения на ремонт и простой оборудования.

Работа выполняется в рамках гос.задания № 075-03-2023-291/1 от 16.01.2023 г.

Литература

1. **Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В.** Определение частот колебаний трубопроводных систем конечно-элементным моделированием. Сборник трудов 76-ой Всерос. науч.-техн. конф. студ., магистр. и аспирантов с междунар. участием. ЯГТУ, г. Ярославль. 2023, Ч. 1, С. 649.

А.К. Шепелев, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НАБОР ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕЖСЛОЙНОЙ КОРРОЗИИ ИМПУЛЬСНЫМ ВТК

Климатические условия являются наиболее существенной причиной коррозии между алюминиевыми слоями фюзеляжа самолета. По этой причине методы контроля периодически применяются для проверки компонентов самолета как перед сборкой, так и в течение всего срока эксплуатации. Электромагнитная природа импульсно-вихретокового контроля обеспечивает глубокое проникновение поля и дает богатую информацию, описывающую внутреннюю структуру контролируемого изделия. Поэтому этот метод является мощным методом диагностики, который широко применяется в авиационной промышленности.

Конечной целью проводимого исследования является разработка автоматизированного процесса обнаружения коррозионных дефектов в фюзеляжах самолетов с минимальным вмешательством человека.

В работе [1] с помощью численной конечно-элементной модели был спроектирован импульсный вихретоковый преобразователь для контроля многослойных металлических структур. На новом этапе исследований необходимо было определиться с набором диагностических признаков, анализируя которые можно в дальнейшем строить системы классификации обнаруживаемых дефектов. Для этого на численной модели были получены изменяющиеся во времени разностные сигналы (“возмущения”, по отношению к сигналу без дефекта), вызванные изменением положения (глубины) и геометрических параметров коррозии в форме диска разной толщины и диаметра в алюминиевой структуре толщиной 4 мм. Было выбрано пять значений глубины с шагом 0.8 мм, пять значений диаметров (2, 4, 6, 8 и 10 мм) и четыре значения толщины (0.2, 0.4, 0.6 и 0.8 мм).

В качестве информативных признаков из временных зависимостей разностного сигнала были выделены значения первого и второго экстремумов, а также времена достижения этих экстремумов и время пересечения нуля. При этом для уточнения значений экстремумов и времени их достижения были применены специальные приемы локальной квадратичной аппроксимации.

Литература

1. **Лунин В.П.** Проектирование преобразователя для импульсного вихретокового контроля многослойных изделий / В.П. Лунин, М.А. Комягин // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 29–30 сентября 2022 года — Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. — с. 155–161.

А.А. Крылович, студ.; рук. Е.Г. Базулин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТИВНОЕ УДАЛЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСНОГО ИМПУЛЬСА ИЗ А-СКАНА ПРИ РАБОТЕ В ИММЕРСИОННОМ РЕЖИМЕ

При проведении ультразвукового контроля в иммерсионном режиме удаление импульса, отражённого от поверхности объекта контроля, (интерфейсного импульса) из А-скана является актуальной задачей, так как это позволяет уменьшить мёртвую зону, следующую за интерфейсным импульсом [1].

При эксплуатации реакторов типа РБМК-1000 в его трубопроводах из-за процессов наводороживания циркония возникают скопления гидритов и блистеров, которые ухудшают эксплуатационные характеристики трубопроводов вплоть до их разрывов [2]. Методика контроля заключается в анализе экосигналов, измеренных дефектоскопом «АВГУР-АРТ» в иммерсионном режиме с помощью фокусирующего пьезоэлектрического преобразователя или антенной решётки. На фоне интерфейсного сигнала большой амплитуды обнаружение экосигналов малой амплитуды от блистера существенно затруднено.

Предложен способ адаптивного построения модели интерфейсного импульса по семи параметрам (время прихода, коэффициент линейной частотной модуляции, частота, время нарастания и спада, фаза и амплитуда). Параметры импульса, при которых целевая функция, описывающая разницу между моделью импульса и интерфейсным импульсом, достигает минимума, и являются искомыми. Для нахождения минимума целевой функции использовался метод оптимизации роя частиц с квантовым поведением (QPSO) [3], который позволяет эффективно находить глобальный минимум целевой функции. Рассчитанный импульс вычитается из А-скана.

В работе приведены результаты применения предложенного метода для обработки экосигналов модельных экспериментов.

Литература

1. **Ермолов И.Н., Ланге Ю.В.** *Неразрушающий контроль: справочник*. в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. *Ультразвуковой контроль / 2-е изд., добраб.* М.: Машиностроение, 2006. — С. 864.
2. **Злоцкий С.В.** *Образование блистеров в многослойных покрытиях ZrN/SiNx, облуженных ионами Ne.* Минск: Изд. центр БГУ, 2017. — С. 388–389.
3. **Sun W.B.** *Оптимизация роя частиц с использованием частиц, обладающих квантовым поведением // Материалы Конгресса 2004 года по эволюционным вычислениям, 19–23 июня 2004 года; США, Орегон, Портленд, IEEE Computer Society IEEE — С. 325–331.*

А.А. Лазаренко, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТА ПРИ МЕДНЫХ И МАГНИТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ДИСТАНЦИОНИРУЮЩЕЙ РЕШЕТКИ

Многочастотный вихретоковый метод является практически безальтернативным диагностическим способом контроля теплообменных трубок парогенераторов АЭС. Способ предполагает контроль изнутри трубки при сканировании аксиальным преобразователем внутренней поверхности трубки. В реальных условиях контроля часто приходится иметь дело с наличием разного рода мешающих факторов, в частности, медных и/или магнитных отложений, а также дистанционирующих решеток на объекте контроля. Поэтому важно оценить влияние этих мешающих факторов на выявление дефекта при контроле.

В исследованиях в качестве объекта контроля использовалась стандартная теплообменная трубка, выполненная из изотропного ферромагнитного материала (аустенитная сталь) и имеющая четыре внешних дефекта глубиной 20, 50, 80 и 100% толщины стенки. В качестве мешающих факторов использовались медная фольга, трубочка из спрессованного магнетитного порошка и два имитатора решетки, при этом эксперименты включали как индивидуальное влияние того или иного фактора, так и их комбинацию (13 вариантов). Измерения проводились цифровой системой вихретокового внутритрубного контроля TesTex TX-4400 [1], строилась соответствующая вероятность обнаружения [2].

Результаты исследования: 1) на высоких частотах сильнее всего влияют на вероятность выявления дефекты с одновременным наличием медных и магнитными наложений и дистанцирующими решетками, а на низких частотах — дефекты с медными и магнитными наложениями, 2) при одновременном наличии медных наложений и дистанцирующей решетки с отверстиями дефекты разных глубин плохо отличимы друг от друга при высоких частотах, 3) при наличии наложений на низких частотах имеется более широкая полоса неопределенности, 4) в экспериментах с одновременным наличием медных и магнитных наложений и дистанцирующей решетки самая широкая полоса неопределенности.

Литература

1. TESTEX TX-4200/4400, standard eddy current tester (ECT), manual software instructions rev 0.90, 2006.
2. **Лунин, В.П.** Оценка вероятности обнаружения дефекта типа трещина в парогенераторных трубах / В.П. Лунин, М.С. Доброклонская // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 29–30 сентября 2022 года — Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2022. — с. 149–154.

К.В. Зотов, асп.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БОЛТОВ МЕТОДОМ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ФОКУСИРОВКИ

Резьбовые крепёжные и соединительные элементы используются в разных конструкциях во всех отраслях промышленности: от крепления мостовых сооружений до соединения трубопроводов высокого давления.

Целостность болтов жизненно важна для длительного безопасного срока службы сооружения. Традиционно болты либо заменяются по истечении установленного периода времени независимо от их состояния, либо снимаются и визуально проверяются на целостность. Такой подход длительный и дорогостоящий, к тому же как правило объект выводят из эксплуатации.

Использование современных методов ультразвукового контроля в комплекте со специализированными сканирующими устройствами позволяет быстро и точно проверить болты без необходимости их демонтажа и остановки объекта. Болты контролируют для выявления усталостных трещин, возникающих по впадинам резьбы. Полученные данные записываются в цифровом формате и используются для расчета оставшегося срока службы объекта.

При проведении ультразвукового контроля классическим методом, возможно обнаружить только крупные дефекты, расположенные по центру болтов. Дефекты в области резьбы сложно выявить, потому что в большинстве случаев сигнал от данных дефектов затеняется сигналами от эхо от нити перекрывают те из дефектов.

В данной статье представлен совершенно новый подход к ультразвуковому контролю болтов и шпилек разной геометрии с использованием метода мультимодальной цифровой фокусировки. На основе комбинирования различных алгоритмов анализа распространения ультразвуковых волн, метод позволяет получать максимально сфокусированные сигналы в каждой точке заранее заданного объема объекта контроля. Полученные в результате применения метода изображения отражателей по форме и размеру получают максимально приближенными к реальной геометрии дефектов.

В статье также описан процесс настройки чувствительности дефектоскопа перед выполнением ультразвукового контроля болтовых соединений, преимущества и ограничения нового подхода.

Литература

1. GINZEL, Ed, To Focus or Not To Focus, Форум www.ndt.net, Август 2015.

А.Ю. Белых, студ.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ВС_x МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО УЛЬТРАЗВУКА

Широкое внедрение тонких нанопленок и тонкопленочных нанопокровов в современной технике требует разработки методов неразрушающего контроля высокого разрешения для определения упругих свойств таких плёнок. Одним из перспективных направлений являются оптоакустические методики, основанные на возбуждении импульсами лазерного излучения зондирующих импульсов высокочастотного ультразвука [1, 2].

С целью изучения упругих свойств материалов в НТЦ УП РАН была разработана установка для измерения скорости распространения ультразвуковых волн в материале. Идея такой системы состоит в том, чтобы использовать ультракороткие наносекундные лазерные импульсы с длиной волны 1064 нм и непрерывное возбуждение на длине волны 532 нм для удаленного возбуждения и обнаружения акустических волн. Главное преимущество метода в конфигурации «точечный источник — точечный излучатель» для исследования упругих свойств непрозрачных аморфных твердых тел и расплавов, заключается в том, что не требуется никаких дополнительных данных для измерения упругих свойств.

В данной работе исследовались алмазоподобные плёнки с различной концентрацией бора ВС, ВС₃ и ВС₇, полученные методом импульсного лазерного напыления на подложке из кремния. Измерения проводились при нормальных условиях. Были получены дисперсионные кривые поверхностных акустических волн для трёх типов ВС_x плёнок. Поведение дисперсионных кривых для пленок, напыленных из мишени ВС_x указывают на, что упругие свойства этих пленок идентичны упругим свойствам подложки, кремния, у которого модуль Юнга равен 131 ГПа [3].

Литература

1. **Martyanov, P & Zinin, P. & Titov, S.** (2021). Development of a high frequency ultrasonic setup for measuring the parameters of thin films. *Journal of Physics: Conference Series*. 2127. 012057. 10.1088/1742-6596/2127/1/012057.
2. **П.В. Зинин, В. Пракапенка, К. Вургесс, Д.Ю. Великовский.** “Экспериментальное изучение генерации и распространения коротких наносекундных акустических импульсов при высоких давлениях в алмазных наковальных методом лазерного ультразвука”, *Ученые Записки Физического Факультета МГУ*, 6, 146314, 2014:.
3. **Lowe, Michael J. S.** “Matrix techniques for modeling ultrasonic waves in multilayered media.” *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control* 42 (1995): 525–542.

М.А. Комягин, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

В настоящее время вихретоковые приборы и установки широко используются для: обнаружения и определения параметров дефектов — несплошностей материала и коррозионных расслоений, контроля размеров объекта контроля (ОК), определения физико-механических параметров и структурного состояния материалов и для других целей [1]. Наличие дефектов в алюминиевых конструкциях импульсным вихретоковым методом определяется по характеру изменения сигнала приемной катушки во времени (отклика) от контролируемого изделия в зависимости от поля, созданного импульсом напряжения на входной катушке [2].

Данная работа представляет собой комплексный подход, включающий моделирование методом конечных элементов, анализ зависимостей напряжения разностного сигнала и применения методов машинного обучения с целью определения характеристик дефектов на основании измеренного сигнала. В ходе моделирования были исследованы различные параметры объекта, чтобы определить зависимости разностного напряжения для дальнейшего обнаружения коррозионных пятен. Из полученных зависимостей были выделены различные информативные признаки, которые могут являться ключевыми для определения размеров коррозионных пятен. Для выявления статистической зависимости между параметрами сигнала и параметрами коррозионного пятна были применены различные методы математического анализа, основанные на машинном обучении.

Таким образом, данная работа предлагает эффективный подход для обнаружения и определения размеров коррозионных пятен в подповерхностных слоях металлических материалов. Это может привести к улучшению контроля и обслуживания многослойных металлических конструкций, а также помочь в предотвращении нежелательных последствий коррозии.

Литература

1. *Неразрушающий контроль, Том 2 / Ю.К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин, под редакцией В.В. Ключева — М: Машиностроение, 2003. 687 с.*
2. **Babbar V.K., Harlley D., Krause T.W.** Finite element modeling of pulsed eddy current signals from aluminum plates having defects // AIP Conference Proceedings. — American Institute of Physics, 2010. — Т. 1211. — №. 1. — С. 337–344.

Н.В. Харин, асп.; рук. О.А. Саченков, к.ф.-м.н. (КФУ, Казань)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА

В настоящее время, развитие композиционных материалов и изделий со сложной внутренней структурой ставят вопрос о развитии экспериментальных методов для определения напряженно-деформированного состояния. Известные экспериментальные методы, которые применяются к образцам с негомогенной внутренней структурой, не позволяют получить полную картину о внутренних изменениях материала при нагружении. При таком анализе невозможно отследить наличие или изменение внутренних дефектов, пористости, а также локальной потери устойчивости. При помощи компьютерного томографа можно посмотреть наличие дефектов внутри изделия или конструкции, но большинство таких исследований производится в статике. В данном исследовании представлена методика исследования пористости образцов рентгеновским компьютерным томографом при одноосном сжатии [1]. С этой целью была изготовлена специальная оснастка, позволяющая нагружать образец внутри томографа. Данная оснастка имеет возможность передавать осевое усилие. Область размещения исследуемого образца обладает большой рентгенологической просветностью. Для иллюстрации методики были спроектированы и изготовлены с помощью аддитивных технологий образцы для испытаний [2]. Проведены серии нагружений и сканирований томографом для нескольких образцов. В результате были получены поля перемещений образцов, величины пористости, объемной деформации и их распределение по образцу для каждого шага нагружения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ проект № 23-21-00274.

Литература

1. **Саченков О.А., Большаков П.В., Герасимов О.В., Стаценко Е.О., Акифьев К.Н.** Устройство для определения структуры материала или образцов при одноосном сжатии и способ его использования // Патент на изобретение 2755098 С1, 13.09.2021. Заявка № 2021103527 от 12.02.2021.
2. **Большаков П.В., Акифьев К.Н., Шарафутдинова К.Р., Саченков О.А.** Исследование структуры неоднородных образцов компьютерным томографом при осевом сжатии // Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред. сборник трудов, Москва. — 2021. — С. 16–22.

Направление III
БЕЗОПАСНОСТЬ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
Security and information technology

Руководитель направления:

Директор инженерно-экономического
института НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Невский Александр Юрьевич

Секция 19

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Information security

Председатель секции: д.т.н., профессор Минзов Анатолий Степанович

Секретарь секции: Агуреев Иван Александрович

*А.С. Федосеев, студ. ;
рук. И.В. Писаренко, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И БЛОКИРОВАНИЕ ВИРУСОВ-ШИФРОВАЛЬЩИКОВ В КИС

В настоящее время вирусы — шифровальщики считаются одной из самых опасных угроз информационной безопасности в мире. Наличие множества программ, работающих по модели «вымогатель как услуга» (Ransomware as a Service, RaaS) создает благоприятные условия для проведения атак с использованием программ — вымогателей и помогает различным группировкам воздействовать на информационные ресурсы компании.

Однако вне зависимости от группировки тактики, техники атакующих не изменяются, поэтому исследование закономерных признаков воздействия хакеров на информационную систему компании помогает понять основные векторы атак злоумышленников и сформировать защиту на основе этих данных, что позволит снизить вероятность успешной компрометации ресурсов компании.

Целью работы является исследование методов проведения атак группами злоумышленников с использованием программ-вымогателей.

1. Рассмотреть различные методы обеспечения безопасности информации от атак типа шифровальщик.
2. Проанализировать методы проведения атак отдельными группировками злоумышленников с помощью программ-вымогателей.
3. Разработать рекомендации на основе выявленных закономерностей в методах атак злоумышленников, которые используют программы-вымогатели.

Результат исследования будет включать в себя индикаторы компрометации, техники, тактики злоумышленников, по которым можно понять в будущем, как будут действовать злоумышленники. Будут сформулированы рекомендации по защите информации от данных атак на отдельных этапах ее проведения. Информации об атаках будет сформирована по матрице MITRE ATT&CK.

Литература

1. **ПРОГРАММЫ-ВЫМОГАТЕЛИ 2021/2022.** Аналитический отчет киберугроз. Тактики, техники и процедуры современных группировок вымогателей // Group-IB. — 2022.

А.В. Завилов, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ОЦЕНОЧНОГО УРОВНЯ ДОВЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3

Цифровая глобализация и стремительное развитие информационных систем делают вопрос доверия к технологиям, задействованным в информационной безопасности, высокоприоритетным. Межсетевые экраны (МЭ), или firewalls, играют центральную роль в защите сетевых ресурсов и данных от несанкционированных действий. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013, хотя и является общепризнанным стандартом для методологий оценки доверия, все же требует спецификации и адаптации при применении к конкретным техническим решениям и условиям эксплуатации.

Целью данного исследования является создание модели оценки доверия к межсетевым экранам, исходя из рамок упомянутого ГОСТа. В разработанную модель будут включены:

- Детализация функционала и архитектуры меж сетевого экрана, включая механизмы обнаружения и блокировки угроз, а также алгоритмы адаптивной безопасности;
- Анализ условий эксплуатации МЭ с учетом различных конфигураций сети, потенциально опасных зон и векторов атак;
- Классификацию и оценку угроз безопасности на основе актуальных данных о киберпреступности и статистике инцидентов;
- Разработка критериев и метрик оценки уровня доверия, с учетом технической надежности меж сетевого экрана и его способности противостоять актуальным и потенциальным угрозам.

Финальный этап исследования будет ориентирован на совершенствование существующих систем информационной безопасности, формирование практических рекомендаций для улучшения уровня доверия к МЭ и разработку методики, специально адаптированной для проведения аудита и повышения уровня безопасности текущих решений в этой области.

Применение предложенной модели позволит специалистам в области ИТ-безопасности с большей точностью и обоснованностью оценивать доверие к межсетевым экранам, оптимизировать их конфигурацию и стратегию обеспечения безопасности, а также формулировать более точные и объективные требования к будущим решениям и технологиям по защите сетевых ресурсов.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013** — Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности.

М.Ю. Сурмина, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ РИСКОВ ПО ОБЩИМ УГРОЗАМ, УЯЗВИМОСТЯМ И АКТИВАМ

Сегодня управление рисками ИБ представляет собой одно из динамично развивающихся направлений в области защиты информации. Тщательная проработка, учет киберрисков стали неотъемлемой частью и важной составляющей деятельности многих компаний.

Понятие риск можно представить через три ключевые сущности: это воздействие угрозы на актив через уязвимость. Помимо этих ключевых параметров в матрице рисков могут учитываться также: затраты на обработку риска, меры контроля для обработки риска, ответственный за риск и другие.

Понятие агрегата риска заключается в том, что один из этих параметров устанавливается приоритетным. Выделение агрегатов рисков позволяет оценить вес каждого параметра и тем самым посмотреть на матрицу рисков с разных точек зрения и принять экономически эффективные решения. Среди проблем, которые могут быть выявлены и решены с помощью выделения агрегатов рисков: перегрузка исполнителей, дублирование мер контроля, наличие критических угроз, затрагивающих многие активы, наличие уязвимостей, порождающих значительные угрозы, а также поиск способа обработки рисков. В условиях трудоемкости аналитической работы, связанной с менеджментом рисков, а также ограниченности финансовых ресурсов на обеспечение ИБ создание ПО выделения рисков может иметь значительный потенциал.

Таким образом, целью работы является разработка ПО выделения агрегатов рисков ИБ.

Ход выполнения работы:

- изучение основ управления ИБ, анализ существующих подходов к управлению рисками ИБ определение возможных агрегатов рисков и составление блока правил;
- создание алгоритма разрабатываемой программы и описание функциональности, планируемой к реализации;
- тестирование созданного ПО на подготовленной выборке, формулировка выводов о возможности использования реализованного алгоритма на практике управления киберрисками.

Литература

1. **Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р.** Управление рисками информационной безопасности: Монография / Под редакцией А.С. Минзова. — М. : ВНИИгеосистем, 2019. — 110 с. : ил.

М.М. Беляков, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА АНАЛИЗА БАЗЫ ЗНАНИЙ MITRE С ЦЕЛЬЮ ЕЁ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ В ФОРМЕ СЦЕНАРИЕВ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕРАТАК НА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В связи со стремительным развитием информационных технологий существенной угрозой непрерывности ведения бизнес-процессов для организаций стали кибератаки на информационные системы управления. Поэтому одной из ключевых задач любой системы управления информационной безопасностью является своевременное обнаружение факта кибератаки на информационную систему.

Для успешного выполнения поставленной задачи используются глобальные базы знаний о действиях злоумышленников. Одной из таких баз знаний является матрица MITRE ATT&CK. Матрица содержит сведения о тактиках, техниках и процедурах, применяемых злоумышленниками для реализации кибератак. При этом тактики, техники и процедуры — это конечные цели злоумышленника и методы их достижения [1].

Информация о действиях злоумышленников представлена в матрице в неформализованном виде, вследствие чего формирование сценариев обнаружения кибератак на основе матрицы требует ручного экспертного анализа, а актуальность сценариев всецело зависит от квалификации специалиста. Отсюда целью работы является разработка формального языка описания приёмов злоумышленников в базе знаний MITRE.

На данный момент существуют различные методы формализованного описания сценариев кибератак, например, предметно-ориентированные языки, такие как Meta Attack Language, позволяющие представлять формализованное описание модели угроз для определённых активов [2].

Таким образом, в ходе исследования необходимо проанализировать базу знаний MITRE ATT&CK, а также существующие методы формализованного описания сценариев кибератак.

Планируемым результатом исследования является разработка формализованного языка описания тактик и техник нарушителей, представленных в базе знания MITRE, позволяющего переходить от обобщённого описания действий злоумышленника к частным сценариям кибератак, актуальным для конкретной информационной системы.

Литература

1. **Frequently Asked Questions. MITRE ATT&CK [Электронный ресурс].** — URL: <https://attack.mitre.org/resources/faq/> (дата обращения: 01.12.2023).
2. **Meta Attack Language [Электронный ресурс].** — URL: <https://mal-lang.org/#what> (дата обращения 01.12.2023)

А.А. Гаврилов, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИБЕРПОЛИГОНА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МЕТОДАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ РАБОТЫ АНАЛИТИКОВ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (SOC) ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ КИБЕРАТАК

В настоящее время в России развиваются центры Security Operations Center. Эти центры призваны обеспечить ситуационный подход к защите от умышленных угроз безопасности и требуют специальной подготовки аналитиков кибербезопасности. Такую задачу можно решить с использованием обучающего комплекса «Киберполигон». Этот комплекс представляет собой аппаратное и программное обеспечение, позволяющее имитировать процесс реагирования на кибератаки.

Целями настоящей работы являются разработка дополнительных обучающих кейсов, позволяющих подготовить студентов к разрешению различных ситуаций, возникающих при обнаружении кибератак, организация научной работы по выявлению новых сценариев кибератак, а также повышение уровня компетенции студентов и слушателей для работы в качестве аналитиков SOC.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: изучить возможности комплекса «Киберполигон», провести анализ стандартов построения SOC, материалов вендоров, практики использования SOC в России и создать систему кейсов, позволяющих студентам освоить все необходимые навыки, а также обеспечивающих возможность научной работы по выявлению новых сценариев кибератак. Поскольку обучение сотрудников SOC функциям различных уровней повышает отказоустойчивость SOC [1], необходимо обеспечить ротацию ролей студентов в создаваемой системе кейсов. Это позволит познакомиться их с различными направлениями деятельности SOC, что обеспечит лучшее понимание принципов работы и профориентацию.

Планируемым результатом работы является реализация созданной методической базы на практике для студентов и слушателей. Полученная система кейсов позволит существенно повысить уровень практической подготовки студентов и слушателей, а также откроет перспективы использования обучающего комплекса «Киберполигон» для других подобных инициатив.

Литература

1. Strategies of a World-Class Cybersecurity Operations Center. MITRE [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.mitre.org/sites/default/files/2022-04/11-strategies-of-a-world-class-cybersecurity-operations-center.pdf> (дата обращения:23.09.23).

А.А. Бондал, студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКРЫТОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

В настоящее время нормативно-методические документы ФСТЭК России, относящиеся к защите информации ограниченного распространения от утечки по техническим каналам базируются на энергетическом критерии, при котором требуется обеспечить соотношение сигнал / шум на некотором расстоянии не выше заданного значения. При этом возможность создания скрытых каналов, в том числе акустических, за счёт дополнительного программного воздействия на штатные алгоритмы обработки информации в отечественной нормативно-правовой базе не рассматривается [1]. Это связано с тем, что звуковые волны частотой ниже 20 Гц и выше 20 кГц не могут быть восприняты человеческим слухом. Отсюда целями работы является:

1. Моделирование канала передачи данных посредством трансформации классического акустического канала в скрытый путём использования частот в неконтурируемом диапазоне более 20 кГц.
2. Исследование характеристик такого канала для оценки потенциальной угрозы информационной безопасности изолированных вычислительных систем.
3. Предложение новых методов и средств обнаружения и защиты от подобных скрытых каналов.

Для достижения этих целей необходимо разработать программное обеспечение, реализующее ретрансляцию в иной частотный диапазон, способное влиять на стандартные процессы, протекающие в АРМ, изменять их параметры и тем самым искусственно создавать скрытый акустический канал утечки, провести его функциональное тестирование, а также проанализировать характеристики моделируемого канала.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки угроз, связанных с потенциальными скрытыми ультразвуковыми каналами, принятия мер по их предупреждению, разработки средств обнаружения и защиты от утечки информации, пересмотра имеющихся или разработки новых нормативно-методических документов ФСТЭК России, посвященных защите информации ограниченного распространения, а также для обучения специалистов по информационной безопасности и кибербезопасности, с целью повышения уровня их компетенций в области обнаружения и предотвращения утечки информации посредством скрытых акустических каналов.

Литература

1. **ГОСТ Р 51275-2006.** Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.

Д.В. Старостин, студ.; рук. А.С. Артёмов, доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «HONEYPOT»

С ускорением развития технологий, преступления и угрозы в цифровой среде становятся более сложными, что требует эффективных методов защиты данных.

Особенно это актуально, когда объем ценной информации неуклонно растет. Технология «Honeyrot» представляет собой один из ключевых инструментов для обеспечения конфиденциальности и целостности данных [1].

Технология обнаружения вторжений широко использует системы Honeyrot. Приманки представляют собой системы, используемые для отвлечения злоумышленников от основных систем. Они решают задачу целью которой является отвлечь злоумышленников от критически важных систем и получить информацию о их вредоносной деятельности.

Использование искусственных ловушек, таких как «Honeyrot», позволяет заблаговременно выявлять и анализировать потенциальные атаки, что играет важную роль в повышении уровня защищенности информационных систем.

Существуют проблемы, такие как недостаточная эффективность методов обнаружения вторжений, сложности в идентификации новых угроз, а также несовершенство маскировки ловушек, делающих их легко распознаваемыми. [1] «Honeyrot» не заменяют механизмов безопасности; они только работают и расширяют полную архитектуру безопасности. Ограниченная область видения. Риск взлома Honeyrot и атаки узлов посторонних организаций.

В исследовании уделяется внимание разработке методов для определения латентности при использовании технологии «Honeyrot» и улучшению маскировки ловушек, чтобы повысить их эффективность в различных сетевых средах.

Целью работы является разработка усовершенствованных механизмов обнаружения вторжений и методов маскировки ловушек, чтобы улучшить их неотличимость от реальных систем и эффективно противостоять новым киберугрозам, внося тем самым значительный вклад в развитие области кибербезопасности.

Литература

1. Красов А.В., Петрив Р.Б., Сахаров Д.В., Сторожук Н.Л., Ушаков И.А. Масштабируемое HONEYROT-решение для обеспечения безопасности в корпоративных сетях // Труды учебных заведений связи. — 2019. — № 3.

Н.Ю. Бобров, студ.;
рук. О.Р. Баронов. к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАЩИЩЁННОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Уровень защищенности — это комплексный показатель, который характеризует выполнение требований, нейтрализующих угрозы безопасности информации. Нормативная база по защите объектов критической информационной инфраструктуры (далее — КИИ) пополняется регулярно, а требования регуляторов по отношению к субъектам КИИ только увеличиваются, в особенности в нынешней политической обстановке. Однако, количество утечек и инцидентов на объектах КИИ при этом заметно не уменьшается, из чего следует что возможно меры защиты, представленные в нормативно-правовых актах по КИИ, не настолько полноценны, как это может показаться на первый взгляд. Таким образом, разработка эффективных методов и технологий контроля уровня защищенности объектов КИИ является актуальной проблемой на данный момент.

Целью данной работы является разработка и обоснование методики контроля уровня защищенности объектов КИИ, на основе «лучших практик» и международных стандартов в области информационной безопасности, которая бы качественно дополняла требования регуляторов к объектам КИИ и обеспечивала бы уверенность в функционирующей системе защиты объекта КИИ. Критериями уровня защищённости будут показатели выполнения мер, освещённых в международных стандартах, но не встречающихся в требованиях ФСТЭК. Показатели критериев уровня защищённости будут привязаны к категориям значимости объектов КИИ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить нормативную базу по защите объектов КИИ.
2. Проанализировать лучшие практики и международные стандарты в области ИБ.
3. Определить критерии, по которым будет осуществляться контроль уровня защищённости объектов КИИ.
4. Разработать методику контроля уровня защищенности объектов КИИ.

Результатом работы будет методика контроля уровня защищенности объектов КИИ.

Литература

1. **Федеральный закон № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017.**

Е.А. Захарова, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДОВЕРЕННОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Блокчейн с его свойствами децентрализации, тождественности [1] и прозрачности набирает популярность в качестве механизма фактически безоговорочного доверия к информационным системам. Смарт-контракты, основанные на блокчейн сетях, значительно увеличивают возможности блокчейн-сетей, но вместе с этим создают множество угроз безопасности. Так, в блокчейн-сети любой участник, зная адрес смарт-контракта, может посмотреть его код. Поэтому не только особенности механизма консенсуса блокчейн-сети, в которой смарт-контракт исполняется, но и ошибки в коде смарт-контракта, проблемы в его логике могут привести к возникновению уязвимостей, которые могут быть потенциально эксплуатированы злоумышленником [2], причем некоторые известные виды атак уже были применены, а некоторые рассматриваются как концептуальные. Таким образом, возникает задача определения способов безопасного применения блокчейн для создания доверенной среды в информационных системах.

Отсюда целью работы является формирование предложения по безопасному использованию технологии блокчейн в информационных системах управления для создания доверенной среды на примере смарт-контрактов. Для этого необходимо изучить наиболее актуальные векторы атак на блокчейн-решения, в частности смарт-контракты, а также проанализировать основные принципы обеспечения безопасности применения технологии блокчейн, включающие качественную разработку и тестирование кода контракта до его запуска, а также внедрение искусственного интеллекта в процессы, особенно чувствительные к ошибкам человеческого фактора.

Планируемым результатом исследования является определение целесообразных к внедрению способов применения блокчейн в информационных системах управления для решения проблем доверия на базовом уровне с учетом принимаемых рисков по использованию данной технологии на основе анализа сценариев атак на информационную блокчейн систему.

Литература

1. **Федеральный закон** «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 31.07.2020 № 259, п. 7., ст. 1.
2. **«Блокчейн: Как это работает и что ждет нас завтра»** / Артем Генкин, Алексей Михеев: Альпина Паблишер; Москва; 2018.

Р.Ш. Агзамов, студ.;
рук. А.В. Дратвяк, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИЩЕННОСТИ КИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ

Рост числа киберугроз, сопровождающийся появлением новых методов атак и уровнем сложности современных информационных систем, делает весьма актуальной проблему защиты корпоративной информационной системы (КИС) и подчеркивает необходимость в разработке, совершенствовании мер безопасности. Тестирование на проникновение — это экспериментальная проверка с целью оценивания состояния ИБ и выявления уязвимостей объекта тестирования (тестируемой системы) путем интегрального и целенаправленного применения против него специальных средств и способов информационно-технических и информационно-психологических воздействий [1]. Тест на проникновение может выполняться в течение 40-часовой рабочей недели и состоит из четырех этапов: сбор информации, сосредоточенное проникновение, эксплуатация доступа и повышение привилегий, документирование [2].

Однако, при этом стоит учитывать тот факт, что существующие методики тестирования могут быть применимы только для определенных типов систем или атак. Это ограничивает их универсальность и возможность использования для анализа широкого спектра уязвимостей. Помимо этого, методики не могут обнаруживать все уязвимости или ложные срабатывания, которые могут привести к ошибочным результатам. Отсюда целью настоящей работы является разработка плана тестирования на проникновение на основе исследования различных методик и технологий тестирования на проникновение с учетом выявленных в них особенностей, достоинств и недостатков. Разработанный план может использоваться для формирования исходных данных, последовательности этапов и их содержания, при практическом аудите безопасности КИС.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет провести анализ современных методов и технологий тестирования на проникновение, анализ архитектуры и компонентов КИС с целью выявления мер безопасности, реализованных в ней и проведение тестов по исследованию уязвимостей. К числу исследования будет также относиться формирование конкретных рекомендаций по улучшению системы защищенности информационной системы и разработка мероприятий по их внедрению.

Литература

1. **Макаренко С.И., Смирнов Г.Е.** Анализ стандартов и методик тестирования на проникновение // Системы управления, связи и безопасности. 2020.
2. **Дэвис Р.** Искусство тестирования на проникновение в сеть / пер. с англ. В.С. Яценкова. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 310 с.: ил.

А.Р. Замилов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Развитие законодательства в области критической информационной инфраструктуры (КИИ) свидетельствует о растущем приоритете обеспечения безопасности данных объектов с целью минимизации потенциальных угроз для национальной безопасности. Одним из требований для обеспечения защиты объектов КИИ является контроль состояния их безопасности. В ходе контроля проверяется выполнение требований по безопасности, закрепленных в нормативных правовых актах в области обеспечения безопасности КИИ [1].

Однако, выполнение этого процесса вручную требует значительных временных и человеческих ресурсов, что может замедлить реакцию на новые угрозы и привести к потенциальным уязвимостям в системах безопасности. В свете увеличивающегося объема требований к защите информации и трудоемкости аналитической работы, существует необходимость в автоматизации данного процесса. Отсюда целью работы является разработка методики автоматизации контроля состояния безопасности объектов КИИ в форме специального программного обеспечения (СПО).

Для достижения поставленной цели необходимо будет решить следующие задачи: проанализировать все требования по организации защиты объектов КИИ, создать алгоритм разрабатываемого СПО с описанием его функциональных возможностей, необходимых для проведения контроля, провести тестирование данного продукта, сформулировать выводы о возможности его использования на практике.

Планируемым результатом является СПО, которое будет объединять два ключевых механизма проверки: анализ технической защиты информации с использованием сканеров безопасности и оценку организационной защиты на основе результатов аудита. Конечным результатом работы СПО будет сгенерированный акт проведения внутреннего контроля, содержащий детальные результаты анализа, выявленные недостатки и рекомендации по их устранению.

Литература

1. **Федеральная служба по техническому и экспортному контролю России. Приказ от 21.12.2017 г. №235.** «Об утверждении требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционированию» // в ред. Приказов ФСТЭК от 20.04.2023 г. № 69.

И.Д. Мельников, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОНИТОРЫ ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Необходимость непрерывного отслеживания сетевой активности для выявления аномалий и оперативной реакции на потенциальные угрозы безопасности для защиты корпоративных информационных систем привела к широкому использованию мониторов трафика во многих компаниях. Мониторинг сетевого трафика — это процесс наблюдения за трафиком, циркулирующим по сети [1]. Подобная информация о трафике необходима для обеспечения постоянной осведомленности о ситуации в корпоративной информационной системе, что позволяет оперативно выявлять аномалии, анализировать потенциальные угрозы и принимать контрмеры, а также способствует оптимизации производительности сети.

Однако несмотря на возможности мониторов трафика существует проблема ограниченного использования собираемых данных, связанная с неудовлетворительным уровнем понимания потенциала данных систем. Отсюда целью работы является исследование глубины функционала мониторов трафика для разработки стратегии эффективного применения собираемых ими данных и подготовки предложений по возможным векторам развития этих систем.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет построить виртуальную модель защиты корпоративной информации с использованием системы InfoWatch Traffic Monitor и на примере этой системы провести анализ сильных и слабых сторон мониторов трафика для оценки их векторов развития.

Планируемым результатом исследования является раскрытие глубины функционала мониторов трафика с выявлением новых перспективных направлений применения данных о трафике. К числу таких направлений можно отнести создание контекстно-ориентированных систем безопасности за счет определения аномалий и контекстного понимания. Будут выдвинуты предложения конкретных стратегий и инновационных векторов развития мониторов сетевого трафика. Данные стратегии будут основаны на расширении функционала для анализа трафика, связанного с киберфизическими системами; анализе возможностей использования алгоритмов машинного обучения для динамической оптимизации сети в соответствии с изменяющейся обстановкой и других предложениях.

Литература

1. **Шелухин О.И.** Обнаружение вторжений в компьютерные сети (сетевые аномалии). Учебное пособие для вузов / О.И. Шелухин, Д.Ж. Сакалема, А.С. Филинова. — Москва : Горячая Линия–Телеком, 2018. — 220 с.

М.В. Михалевич, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УТИЛИТ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время существует множество приложений, которые позволяют автоматизировать процессы с исследованием защищенности информационных систем. Сканирование уязвимостей — один из самых простых способов определить сценарии или методы проникновения в систему. Сегодня сканирование технологий позволяет решить задачу поиска уязвимостей системы и определения возможных сценариев атак. По результатам сканирования создаются более совершенные системы или происходит управление уязвимостями информационных систем. Отсюда возникает задача повышения эффективности использования открытых технологий. Открытые технологии располагают открытым исходным кодом, что позволяет создавать определенные системы доверия к ним на основе анализа. Без регулярного сканирования уязвимостей вероятность того, что вы будете использованы и скомпрометированы, значительно возрастает. Сканер должен быть настроен для сканирования определенных интерфейсов, таких как внутренние или внешние IP-адреса (например, порты и службы), на наличие уязвимостей.

Цель исследования: повышение эффективности выявления уязвимостей в корпоративных информационных сетях за применения открытых технологий и утилит и выявление их возможностей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ функциональных возможностей открытых технологий и утилит.
2. Проанализировать различные сценарии обнаружения уязвимостей и выявить их характерные черты, имеющие значение при сканировании.
3. Проанализировать особенности использования сканеров уязвимостей в больших корпоративных сетях, исключающих создание инцидентов связанных с работой сканеров.
4. Провести тестирование на специально подготовленных ИС.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве методических рекомендаций по применению этих систем, описания возможностей и особенностей планирования их применения.

Литература

1. **ГОСТ Р. ИСО/МЭК 27001-2006.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности // М.: Издательство стандартов. — 2006.

П.А. Гермоненко, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАССЛЕДОВАНИЕ ИНЦИДЕНТОВ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ГРАФОВ СОБЫТИЙ

В ходе расследования инцидентов информационной безопасности на основе графов событий могут возникнуть события, которые не имеют явной связи с инцидентом. Такие события могут включать обычные рабочие операции, ложные срабатывания.

Для эффективного анализа графов событий необходимо использовать параметры графа. Основными параметрами являются: время инцидента, тип события, связи между инцидентами, идентификатор участников. Исходные данные для параметров могут быть получены из журналов событий и систем мониторинга. Использование данных параметров позволит исключить и классифицировать события.

В случае обнаружения событий, которые никуда не приводят, необходимо пересмотреть все доступные параметры графа и провести повторный анализ этих событий. Если повторный анализ подтверждает ложность события, то это следует зафиксировать и вернуться к прошлым событиям для анализа альтернативных вариантов.

После фиксации ложных событий необходимо следовать за цепочкой действительных событий для нахождения точки входа, отслеживания перемещения угрозы в системе и взаимосвязи между событиями.

Цель работы: на основании исследований предложить методику расследования инцидентов в корпоративных информационных системах, основанную на использовании графов событий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ различных методов расследования инцидентов информационной безопасности.
2. Исследовать существующие инструменты для интеграции графов событий в расследование инцидентов информационной безопасности.
3. Разработать методику расследования инцидентов на основе графов событий и оценить эффективность разработанного метода.

Планируемым результатом является улучшение качества расследования инцидентов. Графы событий выступают инструментом, который способствует снижению временных затрат и вероятности ошибки при анализе данных.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности (Переиздание).

Н.С. Козлова, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ РАДИОМОНИТОРИНГА И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В настоящее время в радиомониторинге для обнаружения каналов управления объектами решается ряд задач, связанных с выделением полезных сигналов в условиях загруженной радиоэлектронной среды, в которой становится все сложнее классифицировать излучения, обнаруживать коллизии и адекватно обобщать представление о широкополосном спектре. Кроме этого, радиочастотные (РЧ) сигналы постоянно изменяются во времени, поэтому определение их характеристик возможно только с помощью специальных приборов (таких, как анализаторы спектра), позволяющих обнаруживать трудноуловимые события, выполнять запуск по этим событиям и сохранять их в памяти для дальнейшего анализа. Однако при обработке большого количества РЧ сигналов возникают трудности в правильной классификации полученных сигналов. В связи с этим одним из актуальных направлений инженерно-технической защиты информации (ИТЗИ) является применение нейронных сетей для обнаружения и классификации принятых РЧ сигналов [1].

Применение технологий машинного обучения при анализе сигналов позволит автоматизировать процесс классификации сигналов в частотной, временной, модуляционной, статистической и кодовой областях. В работе планируется использовать одноступенчатую систему обнаружения объектов, так как она обладает наиболее высокой скоростью работы, а своевременное получение информации о потенциальных угрозах при обеспечении ИТЗИ имеет первостепенное значение. Для обучения нейронной сети необходимо создать набор многоканальных изображений РЧ сигналов с разными частотами, амплитудами и модуляциями.

Таким образом, в процессе исследования планируется разработать триплетную сверточную нейронную сеть, обучить ее с помощью преобразованных сигналов из временной области в частотно-временные изображения методом псевдослучайного распределения Вигнера-Вилле и провести эксперимент ее практического использования в реальных условиях.

Планируемым результатом исследования является оценка применения нейронных сетей для классификации сигналов, которые могут быть потенциальной угрозой утечки информации.

Литература

1. **Hai N. Nguyen, Marinus Vomvas, Triet Vo-Huu, Guevara Noubir** «Spectro-Temporal RF Identification using Deep Learning» [Электронный ресурс]. — URL: <https://arxiv.org/pdf/2107.05114v1.pdf> (дата обращения: 24.09.23).

*С.С. Ханова, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф.;
конс. И.А. Агуреев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КЛАССА NTA

Применяемые средства защиты информации не способны обнаружить атаки нулевого дня (0-day), которые могут быть проэксплуатированы злоумышленником. Для обнаружения несанкционированной активности внутри сети необходимо получить более полную информацию о действиях злоумышленника.

Ручные методы обработки информации не позволяют оперативно анализировать такой объем информации, поэтому возникает необходимость автоматизировать этот процесс, то есть построить анализ на обработке с использованием автоматических правил. Эти правила основаны на выявлении аномальных действий злоумышленника и реализованы в технологиях класса NTA (Network Traffic Analysis).

Технологии класса NTA позволяют получить расширенную информацию о событиях внутри сети благодаря следующим основным функциям:

- захват и хранение сетевого трафика;
- разбор захваченного трафика;
- ретроспективный анализ;
- извлечение и хранение файлов для анализа;
- импорт трафика для анализа;
- визуализация данных.

Целью данной работы является разработка методов и технологии реагирования на инциденты информационной безопасности с использованием технологий класса NTA. Методика должна содержать критерии обнаружения проникновения в инфраструктуру предприятия, методы построения цепочки атак злоумышленника, способы обнаружения его следов, также возможно использование машинного обучения.

Планируемые результаты работы позволят службам информационной безопасности снизить временные затраты на реагирование и разбор инцидентов информационной безопасности, а также повысить безопасность как на периметре, так и внутри организации.

Литература

1. **Positive Technologies Network Attack Discovery.** Руководство администратора [Электронный документ], (blob:<https://web.telegram.org/7d632f6f-0b24-4f3e-87a6-7d92a31a811e>, дата обращения: 25.09.2023).
2. **Ханова С.С.** ВКР Бакалавра по теме: Защита сегмента локальной вычислительной сети организации с использованием IDS/IPS систем. 2023 г. — 77 с.

Д.А. Тяпкин, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИБ С ПОМОЩЬЮ MITRE ATT&CK

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что расследование инцидентов представляет собой слабо формализуемую, и не полностью регламентированную документами деятельность.

Цель работы заключается в проведении исследований технологий сбора и анализа событий ИБ, и разработка методики проведения расследований по инцидентам ИБ.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определение наличия инцидента. Для этого необходимо классифицировать первичные признаки инцидента ИБ.
2. Анализ событий, предшествующих к возникновению инцидента ИБ.
3. Определение возможных событий, которые могут быть связаны с предыдущим событием.
4. Проведение повторного анализа до выявления начальных событий, которые привели к инциденту ИБ.
5. Проведение анализа возможных сценариев, использованных при реализации инцидента ИБ и оценка возможности реализации каждого из них.
6. Методика реализации комплекса мер по предотвращению повторной реализации этих сценариев.

Трудность решения данной задачи обусловлена существованием большого количества различных видов инцидентов и способов сокрытия свидетельств инцидентов.

Решить данную проблему можно с помощью использования различных баз угроз и уязвимостей, таких как MITRE ATT&CK, CWE.

Признаками инцидента являются индикаторы, которые позволяют определить, что инцидент уже произошел или происходит прямо сейчас (сообщения от СЗИ, сбои в работе систем).

Заключительным этапом является устранение негативных последствий от инцидента ИБ, осуществить возврат эталонных настроек возможно путем использования резервных копий, переустановки ОС и ПО.

Разработанное методическое пособие может являться основой для проектирования систем, автоматизирующих процесс расследования инцидентов.

Методическое пособие при проведении расследования инцидентов также может быть использовано при обучении специалистов в области ИБ.

Литература

1. MITRE ATT&CK [Электронный ресурс] URL: <https://attack.mitre.org> (дата обращения: 25.10.2023).

В.В. Каменский, студ.; рук. А. Ю. Невский, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМ КОМПЬЮТЕРНОГО АУДИТА НА ОСНОВЕ КЕЙС-МЕТОДА

Обучение технологиям компьютерного аудита на основе кейс-метода заключается во внедрении практических заданий на основе реальных ситуаций в образовательный процесс по направлению подготовки «Информационная безопасность» [1]. Цель внедрения кейс-метода заключается в повышении у обучающихся уровня освоения профессиональных компетенций по проведению компьютерного аудита на примере информационной системы, расположенной в локальной сети организации. Внедряемый кейс определяет освоение следующих профессиональных компетенций:

1. Оценка соответствия информационной инфраструктуры локальной сети нормативным документам и отраслевым стандартам ИБ.
2. Оценка защищенности информационной инфраструктуры локальной сети с использованием методик тестирования на проникновение.
3. Оценка безопасности и эргономичности сетевой архитектуры локальной сети организации.

Разрабатываемый кейс включает в себя следующие разделы:

1. Исходная информация об объекте аудита. Раздел включает в себя описание организации, её локальной сети и информационной системы. При этом исходные настройки компьютерной системы, её структура варьируются, обеспечивая таким образом вариативность исходных данных.
2. Основное задание. Раздел описывает итоговый результат, который должен получить обучающийся по выполнению всех этапов задания кейса.
3. Справочный материал. Раздел включает в себя информацию по использованию инструментов аудита, а также описание требования нормативных документов ИБ.
4. Руководство к действию, описывающее последовательность действий, которые обучающимся следует предпринять для выполнения основного задания.
5. Система оценки выполнения задания. В разделе производится комплексная оценка уровня освоения обучающимся профессиональных компетенций на основе выполненных заданий.

Результатом работы является разработанный и внедренный в образовательный процесс обучающий кейс, который позволит обучающимся освоить профессиональные компетенции компьютерного аудита ИС.

Литература

1. **Nzailu, Arnold; Alyami, Hassan; and Streff, Kevin.** A Model for teaching hands-on IT Audit skills to IS students. MWAIIS 2018 Proceedings. 41.

*С.О. Марков, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н, профессор (НИУ «МЭИ»)*

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ОБУЧАЮЩЕГО КЕЙСА ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Обучающий кейс в области информационной безопасности представляет собой детально разработанный сценарий, нацеленный на развитие навыков анализа, критического мышления и принятия обоснованных решений у студентов. Он включает в себя реалистичные задачи и ситуации, особенно важные для понимания и управления рисками в сфере защиты информации.

Анализ существующих подходов к реализации обучающих кейсов в области информационной безопасности показал, что алгоритм создания обучающего кейса по управлению рисками информационной безопасности включает следующие этапы:

1. Выбор актуального направления обучения: определение приоритетных областей в профиле управления информационной безопасностью, акцентируясь на реальных сценариях и ситуациях, с которыми сталкиваются НПО в контексте ISO 27001[1].
2. Постановка задачи разработки кейса: определение целей и компетенций, которыми необходимо овладеть, формулирование исходных данных, методов и технологий решения, ожидаемых результатов, критериев оценки и временных рамок для тематического исследования.
3. Описание этапов и методики выполнения: разработка подробного описания процесса выполнения кейса, включая методы анализа, обработки данных и оценки рисков, а также подготовка отчетности.
4. Приложения с исходными данными: составление вариативных исходных данных и справочных материалов, необходимых для реализации кейса.
5. Проведение эксперимента с кейсом: реализация кейса с группой студентов для проверки его практичности и эффективности в учебной среде.
6. Анализ эффективности применения кейса: оценка результатов, полученных в ходе эксперимента, сбор обратной связи и анализ эффективности метода.
7. Разработка документации и подготовка публикации: составление комплексной документации по результатам кейса, включая подготовку материалов для публикации и дальнейшего использования.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности.

Ф.Б. Максимов, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н, профессор (НИУ «МЭИ»)

ПЛАНИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В существующих нормативно-правовых документах ФСТЭК не рассматриваются вопросы непрерывности бизнес-процессов (БП), однако в соответствии с требованиями нормативных документов [2;5] каждая организация должна обеспечить непрерывность ИБ в процессах управления непрерывностью бизнеса и восстановления системы после инцидентов [1].

Целью работы является разработка соответствующих планов и процедур реагирования на инциденты и восстановление нарушенных процессов защиты информации. В основе этих документов лежат:

- план обработки рисков непрерывности информационной безопасности для КИИ, основанный на определении исходных данных относящиеся к контексту организации;
- процедуры восстановления БП после инцидента непрерывности;
- методика оценки эффективности планирования непрерывности ИБ.

Исходными данными для плана является:

- контекст организации и контекст рисков;
- анализ критичности информационных активов;
- оценка рисков непрерывности ИБ;
- обоснование мер контроля и управления;
- оценка затрат на меры контроля и управления, описании процедур восстановления бизнес-процессов;
- оценка эффективности планирования непрерывности ИБ.

Планируемым результатом выполнения работы является разработка обучающего кейса с планом восстановления работы БП после произошедшего инцидента ИБ, оказавшего влияния на непрерывность БП. Обучающий кейс должен быть основан на исходных данных БП СМИБ организации, и в нём необходимо определить:

- категории обучающихся;
- роли обучающихся;
- критерии оценки знаний обучающихся;
- варианты контроля реализации методики обучения.

Литература

1. **Минзов А.С., Невский А.Ю., Пасова М.А.** Управление непрерывностью процессов на объектах критической информационной инфраструктуры в энергетике с позиций информационной безопасности // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 182–189. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-182-189.

С.А. Юсупова, студ.;
рук. А.С. Минзов. д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИНФРАСТРУКТУР

С увеличением числа кибератак и развитием новых технологий, сбои в работе критических информационных систем могут иметь серьезные последствия. К тому же, на сегодняшний день, нормативные документы ограничиваются предложением немногочисленных рекомендаций для восстановления КИИ, не учитывается тот факт, что бесперебойная работа требует усилий различных служб, управляющих объектами КИИ. Моделирование процессов обеспечения непрерывности позволяет разрабатывать стратегии предотвращения, реагирования и восстановления после инцидентов. Это показывает актуальность выбранной темы исследования.

Целью работы является разработка механизмов обеспечения непрерывности процессов как комплексную систему восстановления КИИ при возникновении инцидентов информационной безопасности на объектах КИИ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить нормативную базу, применяемую для построения системы информационной безопасности на объектах КИИ;
- разработать модели непрерывного функционирования КИИ с позиций информационной безопасности;
- разработать этапы планирования непрерывности функционирования КИИ с позиций информационной безопасности;
- определить средства обеспечения непрерывности функционирования КИИ с позиций информационной безопасности.

Использование комплекса моделей организационных и технологических процессов позволяет конкретизировать последовательность действий при обеспечении информационной безопасности объектов КИИ, а также повысить научную обоснованность принятия управленческих и технических решений при осуществлении действий по обеспечению информационной безопасности объектов КИИ.

Результаты работы могут быть использованы в качестве методического пособия при моделировании процессов обеспечения непрерывности функционирования КИИ.

Литература

1. **ФЗ №187** «О безопасности критической информационной инфраструктуры РФ», 2017 г.

П.С. Горбач, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ СОТРУДНИКОВ ОРГАНИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Осведомленность сотрудников в области информационной безопасности является одним из важнейших компонентов недопущения реализации киберинцидентов в организации. Под осведомленностью понимается регулярное получение новой информации об актуальных угрозах и тенденциях в обеспечении информационной безопасности, законодательных изменениях, а также мерах и способах защиты от описанных киберугроз [1].

Целью данной работы является разработка программы по повышению осведомленности сотрудников в организации.

Разработанная программа по повышению осведомленности сотрудников в организации, должна удовлетворять критериям [2]:

1. Универсальности, учитывая роли, обязанности и навыки работников.
2. Эффективности, основываясь на ценности информационных активов и мировой практике в информационной безопасности.
3. Применимости, чтобы легко внедрить ее в условиях нормативных особенностей организации.

Контроль эффективности от реализации программы повышения осведомленности сотрудников решается прежде всего, путем измерения уровня знаний и навыков сотрудников от проведения начального и последующего тестирования. Сравнение результатов до и после внедрения программы поможет определить, насколько программа повышает осведомленность сотрудников. Дополнительно, участие сотрудников в мероприятиях программы, таких как семинары и тренинги, может служить индикатором интереса и вовлеченности. Высокий уровень участия может свидетельствовать о успешной реализации программы.

Таким образом, разработанная программа по повышению осведомленности сотрудников в компании поможет решить проблему мошенничества и финансовых убытков в организации, проблему утечек конфиденциальных данных клиентов и контрагентов, а также проблему скорости реагирования на инциденты информационной безопасности.

Литература

1. **InformationSecurity** — Повышение осведомленности пользователей. [Электронный документ], (<https://clck.ru/36GbLU>, дата обращения: 26.02.2023).
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности».

А.С. Мордвинков, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЗАЩИТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ (ИТ)

Техническое средство защиты (ИТ) — это аппаратное или программное устройство, предназначенное для обеспечения безопасности информации. В работе по проектированию профиля защиты в качестве ИТ рассматривается сетевой экран.

Целью проектирования профиля защиты сетевого экрана является определение требований к безопасности, которые должны быть реализованы в устройстве.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определение требований к безопасности защищаемой информации.
- Анализ возможных угроз безопасности защищаемой информации.
- Разработка методов и средств защиты от угроз безопасности, которые будут реализованы в сетевом экране.
- Оформление требований к безопасности в виде профиля.

В настоящее время существуют аналоги проектирования профиля защиты сетевого экрана, однако эти требования могут быть не полными или не соответствовать требованиям организации, а также не учитывать современные модели угроз.

Для улучшения существующих аналогов можно предложить следующие меры:

- Разработка архитектуры безопасности с учетом современных моделей угроз к системам управления (атаки на основе искусственного интеллекта, атаки нулевого дня и т.д.).
- Регулярная оценка доверия сетевого экрана. На основе оценки прийти к выводу, о доработке компонентов ИТ или принятии профиля защиты.

Проектирование профиля защиты сетевого экрана является важной задачей, которая должна проводиться в соответствии с определенной методологией. Качественно разработанный профиль защиты являются основой для разработки эффективного сетевого экрана.

Литература

1. **ГОСТ Р 57628-2017** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководство по разработке профилей защиты и заданий по безопасности».
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий».

А.С. Денисов, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РЕЖИМА КОММЕРЧЕСКОЙ ТАЙНЫ

Согласно Федеральному закону №98 от 29 июля 2004 года, термин «коммерческая тайна» (КТ) определяется как режим конфиденциальности информации, позволяющий ее обладателю при существующих или возможных обстоятельствах увеличить доходы, избежать неоправданных расходов, сохранить положение на рынке товаров, работ, услуг или получить иную коммерческую выгоду [1].

Организация эффективного режима КТ в компании представляет собой сложную задачу, усугубленную тем, что закон №98-ФЗ о КТ не устанавливает нормы, регулирующие управление данным режимом. В связи с этим основные сложности начинаются при обнаружении нарушений режима: может оказаться, что привлечь к ответственности виновного и возместить ущерб, равно как и отстоять свои права в суде, не получится. Причин этому множество: сотрудники не ознакомлены с положением о КТ, не утвержден перечень сведений конфиденциального характера, на документах отсутствует гриф «КТ», нарушение обнаружено слишком поздно и т.д. Таким образом, появляется необходимость в разработке методики по организации внедрения и управления режимом КТ.

Цель исследования заключается в разработке методики охватывающей процедуры по установлению и защите режима КТ. В методике рассмотрен порядок отнесения сведений к КТ и установления режима КТ, методы защиты информации внутри компании и при взаимодействии с контрагентами, а также рассмотрены меры по применению физических, программных и организационных СЗИ. Предлагаемая методика позволит обеспечить комплексную защиту и контроль за информацией, составляющей КТ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ нормативных документов по организации и управлению системой защиты КТ.
2. Разработать конкретные технические и организационные меры для обеспечения защиты КТ.
3. Предложить методику создания системы контроля за распространением КТ как на материальных, так и на электронных носителях информации.

Литература

1. **Федеральный закон** «О коммерческой тайне» от 29.07.2004 N 98-ФЗ // СПП «Консультант Плюс». — URL:https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_48699/

В.М. Шеверга, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ ДОВЕРИЯ К СИСТЕМАМ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что существующие системы электронного голосования не внушают необходимого уровня доверия, связано это с тем, что в обществе сложилось мнение о невозможности полного доверия к этим системам, так как в них присутствует множество неконтролируемых факторов.

Доверие в системе электронного голосования рассматривается как совокупность организационных и технических решений, позволяющих установить вероятность влияния на конечный результат голосования в ходе всего избирательного процесса.

В настоящее время уровень доверия к системам электронного голосования находится на низком уровне из-за отсутствия прозрачности процесса, возможности контроля со стороны обычного избирателя и отсутствия аргументированной статистики.

Цель работы заключается в разработке модели создания системы, обеспечивающей «абсолютный» уровень доверия к системам электронного голосования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Обеспечение подотчётности;
- Подконтрольность;
- Закрытость;
- Защищённость;
- Анонимность;
- Целостность;
- Управляемость.

Трудность решения данной задачи обусловлена труднодоступностью информации о мерах и способах проведения дистанционного электронного голосования, реализуемых правительством в настоящее время.

Решить данную проблему можно с помощью использования гомоморфного шифрования и модели Zero Trust Security, основанной на блокчейн технологии.

Разработанная модель может являться основой для проектирования систем, реализующих разнообразные виды проведения электронного дистанционного голосования.

Литература

1. **Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р.** Механизмы создания системы доверия к социально значимым общественным информационным системам // [Электронный ресурс] URL: <https://www.ruscrypto.ru> (дата обращения: 25.10.2023).
2. **Фёдоров В.И.** Электронное голосование // Инфра-М, 2023.

*В.А. Чемерева, студ.;
рук. С.Ю. Трофимцева, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПДН МЕТОДОМ ДОБАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАПИСЕЙ В БД

Существующие методы обезличивания персональных данных рассматривают возможность строгой идентификации, в то время как идентификация зависит от ряда факторов, которые влияют на её вероятность.

Согласно методическим рекомендациям по применению приказа Роскомнадзора №996 определяются четыре метода обезличивания ПДн, из которых лишь два обладают безусловным наличием свойства анонимности (метод изменения состава или семантики и метод перемешивания) [1].

Учитывая вышеизложенное, предлагается использование метода обезличивания, основанного на добавлении искусственных записей. Данный метод является частным случаем метода изменения состава или семантики. Суть метода заключается в введении искусственных записей в базу данных ПДн с возможной дальнейшей обратимостью обезличивания за счёт использования криптографической хэш-функции.

Переход от строгой модели к вероятностной позволяет на основании идентифицируемых признаков, используемых в БД определить вероятность идентификации субъекта ПДн:

$$p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i), \quad (1)$$

где p_i — частота идентифицируемого i -го признака в БД [2].

Особенностью метода является возможность самостоятельного управления вероятностью идентификации субъекта, добавляя то число записей, которое по мнению оператора позволит свести вероятность идентификации к минимуму используя (1).

Планируемым результатом исследования является набор методических рекомендаций по использованию метода добавления искусственных записей в рамках обезличивания ПДн.

Разработанная методика предполагается для использования во исполнение требований п. 2 ст. 19 Федерального закона №152-ФЗ.

Литература

1. Методические рекомендации по применению приказа Роскомнадзора №996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных» от 5 сентября 2013 г.
2. Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р. Безопасность персональных данных: новый взгляд на старую проблему // Вопросы кибербезопасности. 2022. №4 (50).

С.Г. Яцков, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА ИНЦИДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ OSINT

Расследование инцидентов является одним из важных направлений работы специалиста по информационной безопасности, в которой могут использоваться технологии, позволяющие обеспечить сбор и анализ артефактов, относящиеся к инцидентам информационной безопасности. К таким технологиям относятся: Maltiverse, SpiderFoo, TinEye, Harvest, Amass, Metagoofil, FOCA, Infoga. Они составляют группу технологий OSINT. Основная идея данных технологий заключается в том, чтобы собирать информацию из доступных открытых источников для проведения анализа и исследования в различных контекстах и поиска аномалий в информационных средах.

Open Source INTelligence — это концепция, описывающая поиск, сбор, анализ и использование информации из открытых источников, а также используемые методы и инструменты.

Возможности OSINT позволяют собирать различную информацию, в том числе и об инцидентах, следовательно, и о преступнике. В такой список информации входят: информация о лицах, о доменах и веб-ресурсах, геолокационные данные. Особенностью OSINT является то, что он собирает артефакты, исследует косвенные признаки, которые приводят к исполнителю, а также определяет начало возникновения инцидента.

Таким образом, в процессе исследования необходимо рассмотреть существующие методы и технологии OSINT для применения их в выявлении исполнителя инцидента на поздней стадии, используя внешние решения OSINT.

Планируемым результатом исследования является анализ и создание инструментов и программных решений, облегчающих сбор, фильтрацию и анализ данных инцидентов из открытых источников. Это будет способствовать повышению эффективности и скорости выявления инцидентов, а также выявления инициатора инцидента с использованием технологий OSINT во внешних данных. Кроме того, исследование предполагает подготовку рекомендаций по улучшению процессов анализа и реагирования на инциденты на основе полученных результатов.

Литература

1. Thea Riebe Values and Value Conflicts in the Context of OSINT Technologies for Cybersecurity Incident Response: A Value Sensitive Design Perspective [Текст] / Kjeld Schmidt // Computer Supported Cooperative Work (CSCW). — 2023. — № 1. — С. 20–28.

А.С. Карпов, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ С ВИРУСАМИ ШИФРОВАЛЬЩИКАМИ

В современном мире фиксируется все большее количество атак, осуществляемых через внедрение вирусов-шифровальщиков с помощью различных каналов связи, в том числе почтовые вложения, несанкционированный доступ в информационные системы посредством эксплуатации веб-сайтов и средств, находящихся на периметре информационных систем, ориентированных на критическое нарушение целостности данных и инфраструктуры организаций. Реализация киберугроз, связанные с проведением атак нулевого дня, включая вирусы-шифровальщики, влекут за собой финансовый ущерб, соизмеримый с потенциальной прибылью соответствующего проекта. По результатам анализа компании «Лаборатория Касперского» за 4 квартал 2022 года от таргетированных атак шифровальщиком пострадали минимум 730 организаций [1].

Целью работы является разработка методики детектирования инцидентов с ранее неизвестными вирусами шифровальщиками для предотвращения ущерба инфраструктуре организации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать теоретические основы вредоносных программ, включающих вирусы шифровальщики.
2. Провести комплексное практическое исследование вирусов шифровальщиков.
3. Разработать методику детектирования и реагирования на основе полученных сведений.

Результатом работы будет являться создание методики детектирования инцидентов с ранее неизвестными вирусами шифровальщиками с перечнем определенных в работе признаков вируса. Оно будет содержать рекомендации по выявлению признаков активности вируса, определение действий персонала по противодействию вирусам шифровальщикам, советы по организации киберучений и рекомендации по оценке противодействия вирусам шифровальщикам [2].

Литература

1. **TADVISER** — Вирусы-вымогатели (шифровальщики) Ransomware. [Электронный документ], (<https://goo.su/31dsC>, дата обращения: 04.11.2023).
2. **Kaspersky** — Как минимизировать последствия атаки шифровальщика для компании. [Электронный документ], (<https://clck.ru/36ewsb>, дата обращения: 05.11.2023).

Р. Шарафутдинов, студ.;
рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ СЦЕНАРИЕВ РЕАГИРОВАНИЯ НА КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНЦИДЕНТЫ

Кибератаки на КИИ могут нести разрушительные последствия. В связи с этим вопросы безопасности КИИ получили активное развитие в последние годы. Однако, создать полностью защищенную информационную систему невозможно, поэтому, кроме реализации защитных мер, также уделяется внимание оперативному реагированию на компьютерные инциденты. Так, принятая недавно серия стандартов «Управление компьютерными инцидентами» подробно рассматривает процесс реагирования на компьютерные инциденты. В соответствии с ГОСТ Р 59711-2022 необходимо разработать план реагирования на компьютерные инциденты, который должен содержать подробные пошаговые инструкции к действиям по обнаружению, регистрации и реагированию на компьютерные инциденты [1].

Сценарии реагирования на компьютерные инциденты представляют собой заранее определенный набор действий по устранению конкретных типов компьютерных инцидентов, таких как заражение вредоносным ПО или DDoS-атаки [2]. Сценарии можно реализовать и как приложение к плану реагирования, и как его часть. Реализация сценариев реагирования планируется на основе использования матрицы MITRE ATT&CK и анализа отчетов о компьютерных инцидентах, опубликованных ведущими поставщиками средств информационной безопасности.

Цель работы заключается в разработке методики создания сценариев реагирования на компьютерные инциденты.

При этом решаются задачи:

- анализа управления компьютерными инцидентами с позиции нормативного регулирования и «лучших практик»;
- разработки методики типовых сценариев реагирования на компьютерные инциденты;
- анализа преимуществ использования типовых сценариев реагирования на компьютерные инциденты и перспектив их внедрения в деятельность SOC.

Литература

1. **ГОСТ Р 59711-2022** Защита информации. Управление компьютерными инцидентами. Организация деятельности по управлению компьютерными инцидентами.
2. **Таланкин И.** Разработка сценариев реагирования на инциденты. [Электронный ресурс]. URL: <https://securelist.ru/developing-an-incident-response-playbook/107044/>

А.С. Осминкин, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ И ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существующая система международных стандартов управления информационной безопасностью (СМИБ) предусматривает проектирование систем ИБ на основе определения рисков в форме возможного ущерба (R) в результате реализации угроз (T) по отношению к информационным активам (A), через определенные уязвимости (V)

$$R = \langle T, V, A \rangle (1)$$

На основании этих показателей матрица рисков принимает несколько другой вид и включает показатели затрат (Z) на применяемые меры защиты (M)

$$R = \langle T, V, A, Z, M \rangle (2)$$

Эти показатели оцениваются для умышленных угроз в форме лингвистических переменных, которые могут принимать несколько заранее определенных (до 7) значений термов. Каждый терм показателя риска имеет числовой эквивалент метрики, а непосредственно значения риска вычисляются как сумма его показателей $r_i = t_i + v_i + a_i$. Этого достаточно для разработки плана обработки рисков и принятия защитных мер. Однако для принятия обоснованных решений на создание СМИБ необходимо суммарных значения показателей затрат и значений рисков, но для этого необходимо найти способ перехода от относительных показателей значений рисков к их значениям в стоимостном выражении. В этом случае круг решаемых задач резко расширяется и позволяет находить оптимальные решения при ограничениях на затраты и оценивать эффективность полученных решений по защите информации. Такие способы оценки параметров рисков приведены в [1] и основаны либо на использовании нечетких множеств, либо путем моделирования показателей рисков путем рандомизации их в числовых границах термов. Однако при этом остаются невыясненными вопросы доверия к этим результатам. В работе предлагается способ и технология оценки суммарных значений рисков (возможного ущерба) и затрат на меры защиты с использованием методы имитационного моделирования и оценкой их погрешности на основе Центральной предельной теоремы статистики.

Литература

1. **Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р.** Управление рисками информационной безопасности: Монография / Под редакцией А.С. Минзова. — М. : ВНИИгеосистем, 2019. — 110 с. : ил.

Н.Н. Руковишников, студ.; рук. С.С. Рыжиков, доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ УГРОЗ И МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) являются важными элементами инфраструктуры современного общества, обеспечивающие широкий спектр услуг в различных сферах деятельности, таких как транспорт, коммуникации, оборона и безопасность. Однако ГНСС подвержены различным угрозам, которые могут нарушить их нормальное функционирование и привести к серьезным последствиям для пользователей и общества в целом. Среди таких угроз особое место занимают радиопомехи, которые могут быть естественного или искусственного происхождения, пассивного или активного типа, маскирующего или имитирующего характера [1].

Основной проблемой информационной безопасности ГНСС, является недостаточная защищенность навигационных радиосигналов в условиях преднамеренного воздействия радиопомех, которые могут подавить, исказить или подменить полезные сигналы, влияя на точность, надежность и доступность навигационно-временного обеспечения потребителей.

Одной из задач приёмника ГНСС является приём сигналов для точного определения своего местоположения. В процессе приёма сигналов приёмник неизбежно сталкивается с необходимостью выбора более мощных сигналов для обеспечения эффективной работы. Одним из методов воздействия на приёмник является повышение отношения мощности ложного сигнала к мощности шума. Также могут быть вызваны высокие уровни шума с целью подавления реальных сигналов от спутников в определённых частотных диапазонах. Это направлено на увеличение вероятности приёма ложных данных, которые могут быть навязаны приёмнику.

Цель предстоящей работы заключается в повышении информационной безопасности ГНСС. Для достижения этой цели предполагается осуществить исследование основных видов и характеристик радиопомех, оказывающих воздействие на ГНСС, проанализировать существующие и перспективные методы обнаружения и нейтрализации радиопомех, а также выявить их преимущества и недостатки. В конечном результате разработать рекомендации по увеличению устойчивости и защищенности ГНСС в условиях воздействия радиопомех.

Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под. ред. Перова А.И. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.

Н.Д. Монахов, студ.; рук. Д.Н.Власкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ

Массовая пандемия создала необходимость введения новых форм работы сотрудников вне офиса, многие компании осознали удобность удаленной работы, она требует меньше капиталовложений на обеспечение и содержание рабочего места, однако при организации работы в режиме удаленного доступа возникают дополнительные проблемы, связанные с безопасностью, появились новые угрозы, которые ранее не предусматривались системами безопасности.

Работа сотрудников из дома связана с отсутствием достаточного контроля, чем провоцирует большее количество рисков утечки и модификации информации, небезопасный вариант — персональный компьютер с устаревшей операционной системой, либо нелегализованной версией ОС, провоцирующий риски, связанные с целостностью.

В существующих рекомендациях по системе требований к защите информации при удаленной работе отсутствуют рассмотрение элементов контроля целостности рабочей среды, не рассмотрены принципы контроля рабочего места и его состояния, нередко сотрудники могут забывать блокировать ПК, тем самым провоцируя риски связанные с многопользовательским режимом работы, что может повлечь за собой хищение или модификацию данных. Также не уделено должного внимания обеспечения безопасности канала коммуникации, многие компании подвергаются риску утечки информации, используя общедоступные сервисы коммуникации.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет провести анализ существующих технологий обеспечения безопасности удаленного доступа, рассмотреть модель угроз и условий, при которых осуществляются выявленные угрозы, создать механизм контроля за средой разработки, каналом коммуникаций, разработать рекомендации по обеспечению безопасности удаленной работы сотрудника.

Планируемым результатом исследования является создание совокупности рекомендаций, условий, ограничений работы персонала, а также способов контроля за их деятельностью для обеспечения безопасного подключения.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности // Издательство стандартов. — 2021.

Б.А. Гимадиев, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ ИБ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРИЕВ КИБЕРАТАК

Сегодня в сфере информационной безопасности (ИБ) преобладают многошаговые распределенные атаки со сложной организацией и сложным процессом реализации [1]. Выявление и реагирование на такие инциденты ИБ является весьма трудоемким процессом, что зачастую приводит организации к различного рода убыткам (финансовым, репутационным). Следовательно, появляется необходимость в выявлении таких инцидентов еще на начальных этапах их реализации. Одним из вариантов решения данной задачи является вероятностный подход к выявлению инцидентов.

Основная идея проекта заключается в дальнейшем совершенствовании аналитических механизмов современных SIEM-систем по сбору и обработке событий и выявлению инцидентов.

Данные исследования предназначены для т.н. «эшелонирования» усилий по сбору информации о событиях и выделения из пула этих событий перспективных, которые в дальнейшем могут быть классифицированы как инциденты.

Главная цель «эшелонирования» заключается в обработке трафика событий большой интенсивности, что становится возможным и уже имело место в период беспрецедентного санкционного давления на чувствительные ИС РФ, такие как банковская сфера, госучреждения и др. В этих условиях полезно превентивное обнаружение аномальной и злоумышленной активности для заблаговременной передачи информации аналитикам SOC различного уровня.

При этом решаются задачи:

- своевременного детектирования начального периода активности;
- оперативного перевода работы SOC в повышенные (усиленные) режимы;
- превентивная адаптация аналитиков и настройка их приложений (консолей) с учетом текущей обстановки.

Методическая основа работы заключается в анализе наиболее распространенных сценариев атак из матрицы MITRE, а также стандарта CAPEC, и выделения в них характерных признаков, к которым впоследствии применяются алгоритмы свертки и оценки вероятности события с уровнем ошибок 1 (пропуск) и 2 (ложное срабатывание) рода [1].

Литература

1. **В.И. Васильев, А.Д. Кириллова, А.М. Вульфин** КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕКТОРА КИБЕРАТАК НА ОСНОВЕ МЕТАШАБЛОНОВ CAPEC // Вопросы кибербезопасности. 2021. №2 (42).

А.П. Колосов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИМИТАТОРОВ АТАК НА КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

За 2022 год по результатам исследования Positive Technologies количество атак на корпоративные информационные системы увеличиваются. Причин этому несколько: появление новых уязвимостей в информационных системах, уход иностранных вендоров средств защиты информации, а также нехватка классифицированных специалистов по информационной безопасности в 90% компаний [1].

Самой главной проблемой, которая возникает у специалистов SOC (Security Operation Center) и экспертных центров является неправильное реагирование и сбор событий для дальнейшего расследования недопустимых событий. Это влияет на время, за которое специалисты смогут устранить инцидент информационной безопасности.

Для решения этой проблемы существуют решения для имитации атак на виртуальную информационную систему, чтобы сотрудник ИБ смог подробнее углубиться в процесс расследования атак злоумышленников. С помощью таких технологий, кооперация специалистов SOC и сотрудников информационной безопасности позволит ускорить устранение последствий атаки и защитить инфраструктуру организации.

Целью работы является исследование методов и технологий создания имитаторов атак на корпоративные информационные сети.

1. Проанализировать существующие решения имитаторов атак.
2. Разработать сценарий атаки на корпоративную информационную сеть
3. Провести расследование по разработанному сценарию атаки на корпоративную информационную сеть
4. Обосновать эффективность использования имитаторов атак в целях обучения сотрудников информационной безопасности.

Результат исследования будет включать в себя технологию создания образа виртуальной машины, в котором будет исполнен механизм эмуляции атаки на корпоративную сеть. Будет разработан сценарий атаки по развернутой виртуальной инфраструктуре, по которому будет проведено расследование инцидентов информационной безопасности с использованием средств защиты информации Positive Technologies. Будет обоснована эффективность использования имитаторов атак в целях обучения сотрудников информационной безопасности.

Литература

1. **Итоги пентестов — 2022.** Исследование организаций по внутреннему и внешнему тестированию на проникновение // Positive Technologies. — 2022.

К.С. Гомес, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Интенсивное развитие информационных технологий (ИТ) и их повсеместное распространение привело к появлению новой проблемы, связанной с обеспечением безопасного их применения. При этом, под безопасным применением ИТ мы понимаем способность их функционирования, не приводящее к утечке информации, несанкционированному доступу к ней, а также способность ИТ противостоять атакам на них. Часть этих угроз может быть снята путем создания системы защиты на уровне архитектуры информационной системы и применения технических и организационных мер защиты. Однако, большая часть мер обеспечения безопасности связана с низким уровнем развития методологии защиты информации на этапе проектирования ИТ. Отсюда и цель работы: исследование методов и моделей разработки безопасного программного обеспечения.

В качестве критерия оценки безопасности сегодня принят оценочный уровень доверия (ОУД) [1], который может применяться на этапе разработки архитектуры безопасности путем описания класса ADV. Этот класс определяет в конечном счете политику безопасности по отношению к функциям, реализованным в ИТ [1]. К недостаткам этого подхода к определению ОУД можно отнести высокую трудоемкость проектирования архитектуры безопасности, необходимость привлечения специалистов по применению стандарта [1], субъективность в определении модели угроз и необходимость применения математических или алгоритмических доказательств для требований к ОУД высокого уровня.

В настоящее время появились новые технологии проектирования ИТ DevOps (development & operations), представляющие собой набор методик, и инструментов, позволяющие автоматизировать процессы разработки ПО. Эти технологии основаны на идее постоянного развития функциональности ИТ с периодом 2–3 недели, что создает большие проблемы с обеспечением безопасности и системы ее контроля. В этой технологии вопросы безопасности рассматриваются после проектирования новых функций ИТ. Модель угроз не разрабатывается вообще. Отсюда возникает необходимость развития методологии проектирования безопасного ПО, одним из которых являются комплексное решение.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности.

В.К. Селюков, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Нормальное функционирование и эксплуатация информационных систем различного уровня и принадлежности невозможно без периодической проверки состояния их безопасности.

Это соответствует подходам, изложенным в нормативных документах по менеджменту информационной безопасности как отечественных [1, 2], так и международных. Кроме этого, такие подходы находят свое отражение и в «лучших зарубежных практиках».

Аудит безопасности является важнейшим видом контроля безопасности информационных систем и полностью соответствует циклу менеджмента безопасности PDCA.

В связи с этим вопросы правильной организации, разработки эффективной программы, соблюдения принципов, результативности проверок и правильной реакции на их оценки становятся в настоящих условиях весьма значимыми и актуальными.

Таким образом, в процессе исследования планируется на основе полного и четкого определения целей аудита, соблюдения его принципов, оценки рисков и возможностей разработать эффективную программу аудита корпоративной информационной системы (на конкретном примере).

Промоделировать варианты реализации программы с использованием различных технологий, таких как анализ документов, наблюдение за деятельностью должностных лиц, объемом выполнения нормативных требований при участии проверяющих, а также с использованием специального программного обеспечения.

На основе полученных результатов сделать выводы о наиболее эффективных методах и технологиях проведения аудита безопасности, которые дают более полные и точные оценки аудита.

Планируемым результатом исследования является повышение информативности процесса аудита безопасности корпоративных информационных систем.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021** «Информационные технологии (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности».
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014** «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности».

А.Н. Завадский, студ.;
рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В 2006 году был принят Федеральный закон №152, который стал для специалистов служб информационной безопасности началом новой очень сложной работы по обеспечению требований Конституции РФ в части защиты персональных данных граждан России.

Закон постоянно обновляется, но проблема распространения и контроля большого количества документов, которые используются внутри корпоративных систем, по-прежнему остается. Если документ попадает в сеть, то дальше информацию о нем найти невозможно, отсюда возникает проблема усиления контроля распространения документов в электронном виде.

Электронный документооборот, содержащий персональные данные, сегодня не позволяет контролировать историю документа, его движение, переход от одного владельца к другому, эти функции совсем не рассматриваются в системах обмена персональными данными. Поддается рассмотрению только трансфер между государствами, но механизм его до конца непонятен, как он дальше будет контролироваться за пределами государства. На сегодняшний день персональные данные отдаются и передаются без дальнейшего сопровождения, но так как это конфиденциальная информация, её необходимо учитывать, контролировать распространение, в том числе куда она передается, кто ей владеет, что с ней дальше происходит: копируется, отображается, распространяется ли она. По сути дела, главная задача, которая связана с ограничением распространения, не решается.

Основными путями решения задачи, на наш взгляд, будет:

1. Создание электронных систем учета и контроля, которые бы фиксировали движение, изменение, копирование и другие функции документов, что повысит ответственность персонала.
2. Создание механизмов расследования и моделей ответственности при несанкционированном распространении электронных документов.

Решение данных задач позволит усилить эффективность систем защиты информации, повысить ответственность операторов за прием, передачу, хранение и распространение информации.

Литература

1. **Минзов А. С., Невский А. Ю., Баронов О. Р. БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА СТАРУЮ ПРОБЛЕМУ** // Вопросы кибербезопасности. — 2022. — №. 4 (50). — С. 2-12.

Е.А. Модина, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ УГРОЗ И УЯЗВИМОСТЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ РАЗРАБОТКИ ПО В МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS

В условиях стремительного развития цифровых технологий и постоянного совершенствования методологии DevOps, анализ угроз и уязвимостей в технологиях разработки становится важным компонентом обеспечения безопасности и стабильности процессов разработки.

В рамках анализа угроз и уязвимостей в рассматриваемом проекте с применением методологии разработки DevOps, особое внимание уделяется созданию надежной архитектуры безопасности. Следует провести детальный обзор, включив в исследование методы, направленные на увеличение доверия к системам безопасности.

Первый этап работы предполагает глубокий анализ текущей архитектуры проекта, охватывающий ключевые компоненты, инструменты и процессы. Выделенные особенности становятся отправной точкой для дополнительного изучения.

Следующим шагом будет исследование потенциальных угроз безопасности и выявление уязвимостей, фокусируясь на конфигурационных и авторизационных аспектах текущей архитектуры. Этап нацелен на выявление критически важных точек, требующих дополнительного внимания для обеспечения безопасности.

В контексте усиления уровня доверия к системам безопасности, предлагается интегрировать в исследование стандарты безопасности, в частности, использовать рекомендации стандарта ISO/IEC 15408. Это исследование призвано повысить надежность системы.

Главным аспектом работы является улучшение готовой системы. Применение методологии DevSecOps позволит интегрировать меры безопасности на всех этапах разработки, включая сканирование кода, анализ уязвимостей и системы мониторинга. Регулярное обновление системы способствует поддержанию актуальности мер безопасности.

Для эффективной реализации предложенных методов и увеличения доверия к системам безопасности, важно обеспечить активное вовлечение команды разработки в области безопасности. Проведение тестирования и аудитов безопасности, а также регулярное обновление знаний сотрудников являются важными шагами в направлении непрерывного совершенствования системы обеспечения безопасности проекта.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий» (дата обращения: 02.12.2023).

Секция 20

ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Applied and business Informatics

Председатель секции: к.т.н., доцент Крепков Игорь Михайлович

Секретарь секции: Баланев Кирилл Сергеевич

А.А. Сметанников, студ.; рук. М.В. Расктова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БЛОКЧЕЙН-СЕРВИСА ДЛЯ БЛАГОТВОРИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В последние годы технология блокчейн вышла за рамки ее использования в виде криптовалюты и распространилось на множество других областей, в число которых вошла и благотворительность.

Для благотворительных организаций проблемой является низкий уровень доверия со стороны потенциальных меценатов. Пользователи опасаются перевести деньги организациям, репутации которых не доверяют. Из-за этого фонды вынуждены достаточно часто производить обязательный аудит, что в хороших аудиторских конторах стоит достаточно дорого. Применение блокчейна способно решить эти проблемы [1].

Процесс разработки веб-сервиса на базе блокчейна начинается с проектирования схем баз данных. Разрабатывается веб-интерфейс клиента, позволяющий пользователям отслеживать движение средств внутри фонда. Далее разрабатывается схема взаимодействия клиента с бэкендом сервиса, включающим в себя блокчейн-протокол, позволяющий записывать и просматривать данные о совершенных транзакциях в неизменяемый реестр.

В докладе анализируются современные подходы к построению архитектуры веб-сервисов. В рамках итогового решения рассматривается проектирование блокчейн-сервиса на базе микросервисной архитектуры с использованием REST API, на базе следующего технологического стека — C++, SQLite3, jQuery, CSS3, HTML5 [2]. Проводится сравнительный анализ, показывающий преимущество выбранного технологического стека и подхода к проектированию.

Разработанное решение способно сократить издержки фонда на аудит, а также повысить доверие со стороны пользователей.

Литература

1. **Башар Имран.** Блокчейн, архитектура, криптовалюты, инструменты разработки. — Москва: ДМК-Пресс, 2020.
2. **Алекс Сью.** System Design, — СПб.: Питер, 2023.

И.Д. Кутьин, студ.; рук. И.М. Крепков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ

Решение задач повышения эффективности организации неразрывно связано с обеспечением информационной поддержки бизнес-процессов [1]. Применение методов и механизмов автоматизации в организациях, занимающихся кадастровой деятельностью (в частности, ООО «Геомастер-Эксперт»), позволяет существенно сократить время на обработку необходимой информации, что еще больше будет экономить финансовые и временные затраты.

При исследовании работы этой организации, были определены и смоделированы 3 основных бизнес-процесса: «Оплата услуг заказчиками», «Оформление услуг и их сопровождение», «Проведение работ на объектах недвижимости». По результатам моделирования был сделан вывод о том, что основными недостатками в организации являются: отсутствие быстрого способа получения информации, удобного взаимодействия между отделами, должной автоматизации.

В итоге, для модернизации бизнес-процессов организации было создано прикладное решение в системе 1С:Предприятие [2] (см. рис. 1), необходимое для учета выполнения кадастровых работ и автоматизации работы бухгалтерии, отдела по работе с клиентами. Также добавлена возможность управления основными бизнес-процессами и задачами. Указанные предложения позволят оперативно формировать необходимые сведения для сотрудников различных отделов, а также руководителю организации.

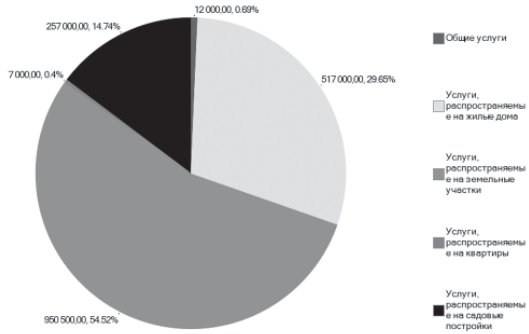


Рис. 1. Аналитическая отчетность в прикладном решении

Литература

1. **Громов А.И.** Управление бизнес-процессами: современные методы. Монография. Люберцы: Юрайт, 2016. — 367 с;
2. **Кашаев С.М.** Программирование в 1С:Предприятие 8.3. СПб.: Питер, 2014. — 304 с.: ил. — (Серия «1Специалист»).

Д.Д. Митюнин, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ: РОЛЬ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И «PIX RPA» В ПРОИЗВОДСТВЕ

На сегодняшний день можно выделить два ключевых аспекта современной корпоративной революции: интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в управление бизнес-процессами и внедрение роботизированных систем с применением программного обеспечения «PIX RPA» в производстве.

Представленное исследование отмечает, что в современной динамичной бизнес-среде интеграция искусственного интеллекта в управление бизнес-процессами становится стратегической необходимостью. Влияние ИИ на процессы принятия решений, оптимизацию операций и создание адаптивных стратегий на предприятии несомненно положительно. Однако, рассматривая обширный ландшафт этой интеграции, не трудно осознать проблемы, связанные с безопасностью данных и подготовкой персонала к новым технологиям, что дает повод глубже исследовать, анализировать и более точно адаптировать современные технологии к реальным потребностям предприятий и общества [1].

Обратим внимание на область производства, где внедрение роботизированных систем с использованием «PIX RPA» становится ключевым изменением. Это программное обеспечение предоставляет не только инновационные решения для автоматизации производственных процессов, но также позволяет оптимизировать задачи и сократить время их выполнения. По результатам успешных кейсов внедрения «PIX RPA», можно заметить, что это не просто новшество, а инструмент, способствующий долгосрочному развитию и формированию конкурентоспособности предприятий [2].

Объединяя два аспекта данного исследования, подчеркивается важность цифровой трансформации для современных компаний. Интеграция искусственного интеллекта и внедрение «PIX RPA» являются не просто технологическими трендами, а важными, стратегическими элементами, необходимыми для повышения эффективности, снижения затрат и обеспечения устойчивости в бурной экономической среде.

Литература

1. **Соснило, А.И.** Атлас искусственного интеллекта для бизнеса и власти : учебное пособие / А.И. Соснило. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. — 105 с. — ISBN 978-5-4497-1631-6.
2. **Официальный сайт компании «PIX Robotics» [Электронный ресурс].** URL: <https://pix.ru/> (дата обращения: 16.11.2023)

А.И. Некрасов, студ.; рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО РОБОТОТЕХНИКИ

Рост сложности проектов в области робототехники требует эффективного управления материальными ресурсами, то есть минимизации издержек на их закупку и хранение, повышения коэффициента использования имеющихся ресурсов, а также сокращения временных потерь, связанных с простоями из-за нехватки необходимых ресурсов.

Автоматизация управления материальным обеспечением конструкторского бюро подразумевает проектирование и разработку соответствующей информационной системы.

В процессе проектирования на основе проведенного анализа бизнес-процессов организации создаются логическая и физическая схемы базы данных и, так как проектирование осуществляется с использованием шаблона MVC, диаграмма классов [1]. Каждый класс соответствует определенной таблице в базе данных.

Для управления содержимым базы данных разрабатывается интерфейс, при этом логика выполнения запросов определяется с помощью контроллеров — специальных классов платформы ASP.NET Core [2].

Информационная система должна включать разделы для отслеживания количества и статуса ресурсов организации, информации об их перемещениях и использовании в проектах. В докладе рассматриваются основные результаты разработки данной системы, демонстрируется ее графический интерфейс и описывается сценарий внедрения.

Результаты работы могут быть использованы для повышения эффективности управления материальным обеспечением рассмотренной организации или аналогичных предприятий, специализирующихся на робототехнике.

Литература

1. **Руководство по ASP.NET MVC:** [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/aspnet/mvc/overview/> (дата обращения: 15.11.2023).
2. **Лок, Э.** ASP.NET Core в действии. М.: ДМК Пресс, 2021.

А.В. Абдуллаев, студ.;
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СКЛАДА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

На сегодняшний день можно выделить два ключевых аспекта современной корпоративной революции: интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в управлении бизнес-процессами и внедрение роботизированных систем с применением программного обеспечения «PIX RPA» в производстве. В условиях динамичной и сложной логистики, создание автоматизированной информационной системы для склада логистической компании становится важным этапом в оптимизации и улучшении операционной эффективности. Современные технологические требования и конкурентное давление на рынке логистики подчеркивают необходимость разработки интегрированной системы, способной автоматизировать учет товаров, отслеживание поставок, оптимизацию складских пространств и обеспечение оперативного взаимодействия с другими подразделениями логистической компании.

Исследование включает в себя анализ текущих проблем логистического управления и представляет собой процесс проектирования и разработки инновационной информационной системы. Предложенная система будет обладать удобным интерфейсом для отслеживания и управления запасами, автоматизацией отгрузки и приема грузов, а также системой мониторинга условий хранения.

Использование передовых технологий, таких как RFID и IoT [1], позволит комплексному мониторингу и управлению запасами, сокращая время обработки заказов и минимизируя ошибки. Ожидается, что реализация данной системы приведет к улучшению эффективности складских операций, снижению затрат и повышению уровня обслуживания клиентов. Это, в свою очередь, способствует укреплению конкурентоспособности логистической компании в динамичной бизнес-среде.

Литература

1. **Связь цифрового и физического: блокчейн, RFID, IoT** // Журнал «ЛОГИСТИКА»
URL: <http://www.logistika-prim.ru/articles/svyaz-cifrovogo-i-fizicheskogo-blokcheyn-rfid-iot> (дата обращения: 19.11.2023).

К.А. Нестеров, студ.; рук. А.В. Ермаков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время разработка веб-приложений играет критическую роль в различных сферах деятельности, оказывая значительное влияние на бизнес-процессы и повседневную жизнь людей. Применение современных технологий в разработке веб-приложений позволяет создавать инновационные, эффективные и удобные продукты, способные удовлетворить потребности пользователей.

Одной из современных технологий, используемой в разработке веб-приложений, является облачные вычисления. Эта технология позволяет создавать масштабируемые и надежные приложения, которые могут быть доступны из любого места и на любом устройстве. Облачные сервисы также облегчают развертывание и обновление приложений, улучшая их производительность и безопасность.

Еще одной важной технологией разработки веб-приложений является JavaScript и его фреймворки, такие как React, Angular и Vue.js. Они делают веб-приложения более отзывчивыми, удобными в использовании и интерактивными. Благодаря использованию компонентного подхода, разработчики могут создавать модульные и переиспользуемые элементы пользовательского интерфейса, ускоряя процесс разработки и повышая качество кода.

Также стоит отметить применение RESTful и GraphQL API для обмена данными между клиентской и серверной частями веб-приложений. Эти архитектурные подходы обеспечивают гибкость и масштабируемость при разработке и интеграции различных сервисов и систем.

В целом, разработка веб-приложений с использованием современных технологий играет важную роль в создании инновационных и функциональных продуктов. Стремление к использованию новых технологий и фреймворков позволяет разработчикам улучшать производительность, надежность и пользовательский опыт веб-приложений, отвечая на изменяющиеся требования рынка и потребности пользователей.

Литература

1. **Дакетт Д.** HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. Эксмо, 2020.
2. **Дакетт Д.** Javascript и jQuery. Интерактивная веб-разработка. Эксмо, 2020.
3. **Бэнкс А., Порселло Е.** React и Redux. Функциональная веб-разработка. Питер, 2018.
4. **Хэнчетт Э., Листоун Б.** Vue.js в действии. Питер, 2019.

А.А. Смирнов, студ.; рук. М.В. Раскатова, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ ЗНАНИЙ: ЭФФЕКТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С КЛИЕНТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В современном бизнесе, особенно в области обслуживания клиентов, наблюдается явный тренд к интеграции передовых технологий для улучшения эффективности взаимодействия с клиентами [1]. Одним из ключевых инструментов в этом контексте являются базы знаний, где предварительно сохранены ответы на часто задаваемые вопросы.

Однако, используя базы знаний без дополнительных ресурсов, таких как большие языковые генерационные модели (LLM), компании сталкиваются с ограничениями в индивидуализации общения и в предоставлении наиболее релевантной информации в каждом конкретном случае. Возникает необходимость в современных решениях, способных не только предоставлять стандартные ответы, но и адаптироваться к уникальным запросам клиентов.

Предлагаемая разработка представляет собой интерфейс API, который может быть встроен в чат поддержки на сайте компании, в чат-бот в любом мессенджере или e-mail. Этот интерфейс основан на использовании существующей базы знаний для векторизации данных в ней с помощью технологии word2vec. Дополнительно применяются позиционное кодирование и механизм самовнимания для учета контекста и структуры информации [2]. Полученные векторы загружаются в векторную базу данных, что создает основу для эффективного использования коэффициента косинусного сходства с целью определения набора наиболее подходящих ответов на поступающие запросы клиентов [3]. Полученный набор ответов и соответствующие коэффициенты затем интегрируются в запрос к локальной версии большой языковой модели, которая генерирует ответ на поступивший запрос, используя область знаний и стилистику общения компании. Это позволяет обеспечить более точные и контекстно-значимые ответы на запросы клиентов в реальном времени, повышая уровень удовлетворенности клиентов и оптимизируя эффективность обслуживания [4].

Литература

1. **J. Berg, E. Buesing.** The State of Customer Care in 2022. McKinsey, 2022.
2. **A. Vaswani, et al.** Attention is All You Need. Калифорния, США, 2017.
3. **F. Rahutomo, T. Kitasuka, M. Aritsugi.** Semantic Cosine Similarity. Сеул, Южная Корея, 2012.
4. **Yu-Cheng Lee, et al.** An empirical research on customer satisfaction study: a consideration of different levels of performance. SpringerPlus, 2016.

*Е.А. Дубровская, К.Э. Привалов, И.Д. Михалевский, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С каждым годом работа с изображениями становится более актуальной и распространенной. Это связано с растущим объемом визуальной информации в мире. Появляется необходимость анализировать информацию в виде цифровых фотографий в большинстве сфер жизни человека: авиация, медицина, робототехника, безопасность, промышленность, искусство. Ключевую роль для автоматизации процессов, анализа данных и принятия решений на основе визуальной информации играет классификация изображений.

Сверточные нейронные сети стали незаменимым помощником в процессе автоматического определения класса изображения по его признакам.

Основная операция для CNN (convolutional neural network) или свёрточной нейронной сети — свертка:

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} * I_{x+i-1, y+j-1} \quad (1)$$

где I — двумерное изображение, K — ядро свертки, $(I * K)$ — свернутое изображение, w и h — ширина и высота ядра свертки соответственно, коэффициент индексации $(x+i-1, y+j-1)$ используется для определения текущего положения обрабатываемых пикселей в изображении. Формула свертки описывает, как каждый пиксель свернутого изображения получается путем суммирования произведений элементов ядра K с соответствующими пикселями изображения [1].

В докладе описаны основные механизмы, архитектура сверточных нейронных сетей, алгоритм распознавания, этапы классификации изображений. В частности, рассмотрен конкретный пример обучения нейросети на базовой модели MobileNetV2 для классификации изображения. В качестве свёрточной основы была выбрана модель MobileNetV2 имеющая высокую скорость работы и подходящая при ограничениях в вычислительных мощностях и памяти.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab (2006) — 192 с.

*К.Э. Привалов, Е.А. Дубровская, И.Д. Михалевский, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕУСПЕВАЮЩИХ СТУДЕНТОВ МЕТОДОМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ K-MEANS

Современные политики высших учебных заведений предусматривают сбор большого количества информации о студентах: оконченная школа, возраст, пол, другие сведения о происхождении и сведения об успеваемости. Выявление студентов, находящихся в зоне риска неуспеваемости, остается ключевой задачей учебных заведений. Современные средства информационных технологий предлагают удобные и полезные инструменты для систематизации и анализа собранных данных. Основным подходом в задаче выявления групп со схожими характеристиками в машинном обучении является кластеризация.

Кластеризация является ветвью развития классического машинного обучения без учителя. Её суть заключается в разделении по схожести данных, у которых нет выраженной характеристики-классификатора.

Кластеризация методом K-means (K-средних) — наиболее популярный и простой способ получить кластеры (или группы), объекты в которых обладают наиболее схожими характеристиками.

Процесс работы алгоритма полагается на расчет евклидова расстояния между объектом и центроидом кластера:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2},$$

где d — расстояние, p — объект с выраженными в числовом представлении параметрами p_i (p_1, p_2, \dots, p_n), q — центроид кластера с выраженными в числовом представлении параметрами q_i (q_1, q_2, \dots, q_n), i — индекс параметра, n — число параметров.

В докладе описывается подготовка данных, определение количества кластеров, процесс обучения модели, процесс уменьшения размерности методами PCA и t-SNE, визуализация результатов и выявление характеристик, наибольшим образом влияющих на принадлежность к определенному кластеру.

Литература

1. **Дейтел П., Дейтел Х.** Python: искусственный интеллект, большие данные и облачные вычисления. М.: Питер, 2022.

*И.Д. Михалевский, Е.А. Дубровская, К.Э. Привалов, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Принимая во внимание текущую тенденцию повышения требований к уровню знаний выпускников, высшие учебные заведения должны постоянно стремиться к повышению качества образования. Прогнозирование успеваемости может быть полезным для учебных заведений в планировании ресурсов, определении потребности в преподавателях и учебных материалах, а также в разработке программ поддержки и мотивации студентов. Современные информационные технологии предлагают удобные средства сбора, обработки и анализа данных. Одним из основных методов решения задачи прогнозирования является регрессионный анализ.

Регрессионный анализ — набор статистических методов исследования влияния одной или нескольких независимых переменных X_1, X_2, \dots, X_k на зависимую переменную Y .

Линейная регрессия — регрессионная модель зависимости переменной y от одной или нескольких переменных x с линейной функцией зависимости.

Регрессионная модель

$$y = f(x, b) + \varepsilon, E(\varepsilon), \quad (1)$$

где b — параметры модели, ε — случайная ошибка модели; называется линейной регрессией, если функция $f(x, b)$ имеет вид:

$$f(x, b) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k, \quad (2)$$

где b_i — коэффициенты регрессии, x_i — факторы модели, k — количество факторов модели. Параметр b_0 , называемый константой, — это значение функции при нулевом значении всех факторов. Цель регрессии — найти коэффициенты этой линейной комбинации и таким образом определить регрессионную функцию $f[1]$.

В докладе описаны сбор и предобработка данных, трансформация категориальных переменных, процесс обучения модели, определение адекватности модели, визуализация результатов, анализ полученных данных и определение параметров, наиболее сильно влияющих на прогноз. Для построения модели используется язык программирования Python 3, с применением библиотек numpy, pandas, matplotlib и sklearn.

Литература

1. Джереми Уатт Машинное обучение: основы, алгоритмы и практика применения (2022) — 640 с.

М.С. Сальников, студ.;
рук. И.М. Крепков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СУБД С УЗКОСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В мире постоянно расширяющегося объема данных и технологических возможностей систем управления базами данных (СУБД) выявляется явная потребность в узкоспециализированных решениях, способных эффективно отвечать на требования конкретных приложений. Рассмотрим современные тенденции и перспективы таких узкоспециализированных СУБД.

Одним из заметных направлений является использование графовых баз данных, особенно в свете развивающихся социальных сетей и потребности в анализе сложных взаимосвязей данных. Графовые базы данных демонстрируют способность эффективного моделирования и анализа сложных структур данных, что оказывается критически важным для приложений, требующих высокой степени структурированности.

В сфере обработки больших данных и распространения Интернета вещей становится ясной необходимость в специализированных временных СУБД. Эти решения позволяют эффективно управлять временными рядами данных и анализировать изменения в них с течением времени, что становится неотъемлемой частью современных приложений.

С развитием искусственного интеллекта и активным интересом к обработке естественного языка появляется потребность в специализированных СУБД для эффективного хранения и обработки больших объемов текстовой информации. Такие базы данных становятся ключевыми компонентами систем обработки естественного языка и машинного обучения.

Современные тенденции в области узкоспециализированных СУБД подчеркивают необходимость адаптации баз данных к конкретным потребностям приложений. Приведенный анализ рассматриваемых технологий поможет выбрать оптимальное решение системы управления базами данных, адаптированной к конкретным требованиям проекта.

Литература

1. **Новиков Б.А.** Основы технологий баз данных: учебное пособие / Б.А. Новиков, Е.А. Горшкова, Н.Г. Графеева; под ред. Е.В. Рогова. — 2-е изд. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 582 с.
2. **Мокрозуб В.Г.** Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах. — М.: Издательский дом «Спектр», 2011. — 108 с. — ISBN 978-5-904270-89-6.
3. **Крикунов М.М.** Основы баз данных: учебное пособие / М.М. Крикунов, А.Н. Поручиков. — Самара: Издательство Самарского университета, 2021. — 84 с.

Направление IV

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

**Electrical engineering,
electromechanics,
and electric technologies**

Руководитель направления:

Директор института электротехники
и электрофикации

к.т.н., доцент

Погребисский Михаил Яковлевич

Секция 21

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Electromechanical energy converters

Председатель секции: к.т.н., доцент Ширинский Сергей Владимирович

Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Антон Олегович

А.С. Сергеев, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТУРБОЕНЕРАТОРА СЕРИИ ТВВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

К турбогенераторам (ТГ) атомных электростанций (АЭС) предъявляются жёсткие требования к надёжности работы, безопасности, сроку службы — от 30 до 60 лет. ТГ АЭС представляют сложные электрические машины, для разработки которых применяются уточненные методы моделирования и расчёта. При создании ТГ АЭС используются современные передовые конструкторские решения, высококачественные материалы. В связи с более низкими параметрами насыщенного пара, вырабатываемого на водоохлаждаемых реакторах АЭС, по сравнению с тепловыми электростанциями, ТГ для АЭС выполняют четырех полюсными, с частотой вращения 1500 об/мин.

На основании методики [1] и с использованием [2, 3] доработан алгоритм и разработана программа проектирования ТГ с водородно-водяным охлаждением (ТВВ), реализованные в расчетной подсистеме Mathcad. В качестве примера для мощного блока АЭС спроектирован трехфазный четырехполюсный ТГ серии ТВВ неявнополюсной конструкции мощностью 1000 МВт, частоты вращения 1500 об/мин, напряжением 24 кВ, коэффициентом мощности 0,9, отношением короткого замыкания 0,4. Определены конструктивные и обмоточные данные ТГ, построено семейство диаграмм Потье. Рассчитаны характеристики холостого хода, угловые, U-образные, внешние и регулировочные. Определены электромагнитные параметры, энергетические и тепловые данные. У четырехполюсного ТГ, по сравнению с двухполюсным, уменьшена длина лобовых частей обмотки статора, примерно в 2 раза снижены электродинамические усилия в номинальном режиме. Коэффициент полезного действия (КПД) ТГ при номинальной нагрузке составил 98,33%. Максимальный КПД ТГ наступает при загрузке в 61% и достигает 98,55%. Изменение выходного напряжения турбогенератора при сбросе нагрузки от номинальной до нуля составляет 41%.

Литература

1. **Константинов, Г.Г.** Турбогенераторы для тепловых и атомных электростанций: учебное пособие / Г.Г. Константинов. — Иркутск: ИРНТУ, 2018. — 332 с.
2. **Баклин, В.С.** Электромеханика. Расчет двухполюсных турбогенераторов: учебное пособие по курсовому проектированию / В.С. Баклин; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 144 с.
3. **Извеков, В.И.** Проектирование турбогенераторов / В.И. Извеков, Н.А. Серихин, А.И. Абрамов. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 440 с.

Д.С. Смирнов, студ.;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ СОВМЕЩЁННЫМИ ОБМОТКАМИ

Одним из способов повышения энергоэффективности: коэффициента полезного действия (КПД) и коэффициента мощности ($\cos\varphi$) трехфазных асинхронных двигателей (АД) является применение вместо стандартных 6-зонных совмещённых 12-зонных обмоток. Форма поля у АД с подобными обмотками ближе к синусоидальной, чем у АД со стандартной обмоткой, что в свою очередь обеспечивает снижение высших пространственных гармоник магнитодвижущих сил, повышение обмоточного коэффициента и энергоэффективности АД [1, 2]. Уточненный электромагнитный анализ последовательно соединённых обмоток ранее не выполнялся, хотя такое соединение имеет преимущества. В последовательно соединённых совмещённых обмотках отсутствуют контурные токи, обмоточный провод для «звезды» может быть выбран ранее используемый.

Проведён уточненный анализ на основании расчёта электромагнитных полей шестиполусного ($2p = 6$) АД мощностью 8 кВт с последовательно соединёнными совмещёнными обмотками. В АД со стандартной обмоткой число пазов на полюс и фазу $q = 3$, для совмещённых обмоток (рис. 1) принято: для «звезды» $q_Y = 2$, для «треугольника» $q_{\Delta} = 1$. Электромагнитный полевой анализ, выполненный в среде Ansys, показал повышение энергоэффективности АД с такой обмоткой (табл. 1).

Таблица 1. Показатели асинхронного двигателя с разными обмотками

Параметр	Обмотка	
	Стандартная	Последовательно соединённые совмещённые обмотки
КПД, %	89,69	90,28
Коэффициент мощности	0,842	0,865
Коэффициент диф. рассеяния	0,01374	0,01207
Пусковой момент, Нм	175,4	188
Максимальный момент, Нм	232	236

Литература

1. **Мощинский Ю.А., Соколова Е.М.** Преимущества и недостатки совмещённой обмотки «славянка» // *Электричество*. № 11, 2018. — С. 23–31.
2. **И.А. Кравале, Ю.Б. Казаков.** Полевой анализ электромагнитных свойств обмоток асинхронных двигателей с совмещённой обмоткой типа «СЛАВЯНКА» // *Тезисы 15 межд. н.-т. конф. студ., асп. и мол. уч. «ЭНЕРГИЯ — 2020»*. — Иваново: ИГЭУ, 2020. — Т.4. — С. 27.

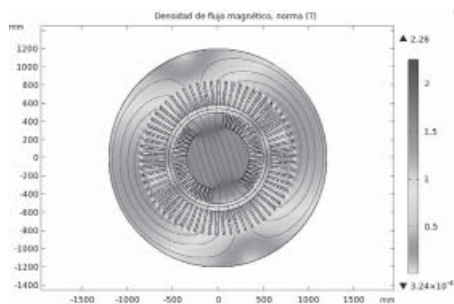
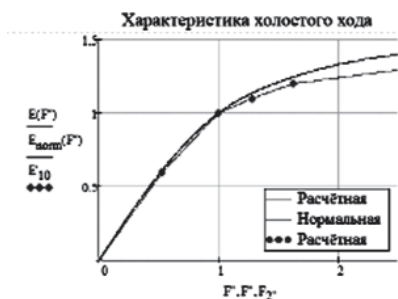
Я.Х. Гонсалес., студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВФ-100-2-3600 ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КУБЫ

Установленная мощность электростанций в Республике Куба превышает 6000 МВт с учетом всех форм выработки электроэнергии. Подавляющее большинство электроэнергии производится на электростанциях, использующих органическое топливо. В стране работает восемь тепловых электростанций с 20 блоками, из которых на сегодняшний момент в эксплуатации находится только 16. Большинство генераторов эксплуатируются более 30 лет, а семь из них — более 40 лет.

Для развития экономики Кубы и обеспечения надёжности электроснабжения потребителей возникает острая необходимость в полной технологической модернизации электроэнергетической системы и в первую очередь генераторов электроэнергии.

В работе проведён расчет турбогенератора ТВФ-100-2-3600 для электроэнергетической системы Кубы. Определены размеры активной части и параметры генератора, проведён электромагнитный расчёт и построены его основные эксплуатационные характеристики.



Эта работа может быть использована для проектирования новых турбогенераторов, оптимизации геометрии внутренних деталей и выбора высококачественных материалов для повышения эффективности и производительности, а также для улучшения конструкции существующих турбогенераторов путем выявления возможных неисправностей и изготовления запасных частей, что позволяет повысить эффективность и производительность.

Литература

1. Извеков В.И., Серихин Н.А., Абрамов А.И. Проектирование турбогенераторов: учеб. пособие для вузов — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2005. — 440 с.: ил.

*И.С. Егоров, асп.; С.А. Нестеров, к.т.н., доцент;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР/МАГНИТОЖИДКОСТНЫЙ ДЕМПФЕР

Совмещение в одном устройстве цилиндрического линейного электрического генератора и возбуждающегося от него магнитожидкостного демпфера [1] позволяет перераспределять энергию колебаний, связанной с ними через шток колебательной системы, между вырабатываемой линейным генератором электрической энергией и вязкостной диссипацией энергии в магнитной жидкости демпфера. В рекуперативном режиме электромеханические магнитожидкостные демпферы преобразовывают механическую энергию колебаний в электрическую. Управляемые электрическим током линейного генератора электромеханические магнитожидкостные демпферы позволяют изменять вязкостные свойства магнитной жидкости и силовую характеристики (жесткость) демпфера в зависимости от условий эксплуатации. Одновременно магнитная жидкость выступает как магнитная смазка подшипников скольжения линейного генератора и увеличивает магнитную проводимость рабочего зазора генератора.

Задача исследования демпфера на основе линейного генератора с магнитной жидкостью в рабочем зазоре состоит в определении конструкции устройства и определении его характеристик. Выбрана конструкция электромеханического магнитожидкостного демпфера на основе линейного генератора с неподвижной трехфазной обмоткой якоря в магнитной системе статора и движущимся вместе со штоком индуктором с постоянными магнитами. К обмотке якоря возможно подключение разных типов нагрузки для подмагничивания или размагничивания магнитной системы демпфера и, соответственно, изменения вязкости магнитной жидкости. Конструкция демпфера рассчитывается на индукцию в рабочем зазоре 0,4–0,5 Тл.

Трехфазная обмотка линейного генератора/демпфера позволяет реализовать режимы противовключения, включение на постоянное напряжение, рекуперативный режим. Режимы могут быть термонапряженными для элементов конструкции. Циркулирующая под действием движения штока и ферромагнитных сил в рабочем зазоре магнитная жидкость способствует интенсификации охлаждения активных частей устройства.

Литература

1. **Патент на полезную модель 205731 U1.** магнитожидкостный электромеханический демпфер. 30.07.2021 / Нестеров С.А., Егоров И.С., Морозов Н.А. Заявка № 2021112961 от 04.05.2021.

Д.А. Хнычев, студ.; рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРУЖНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одним из эффективных средств для подъема грунтовых вод является скважинный центробежный электрический насос, у которого в качестве привода используется погружной водозаполненный электродвигатель.

В настоящее время аддитивные технологии внедряются в различные отрасли техники, включая и электромашиностроение. Поэтому внедрение аддитивных технологий при создании погружных электродвигателей (ПЭД) является актуальным.

Данная работа посвящена исследованию параметров и характеристик погружного двигателя базовой конструкции и двигателя, выполненного на основе применения аддитивных технологий. В работе рассмотрен двигатель, у которого ротор содержит магнитопровод из магнитно-мягкого композиционного материала и короткозамкнутую медную обмотку, изготовленную на 3D принтере с применением технологии SLM. Для снижения магнитной индукции зубцов ротора пазы круглой формы заменены на трапецидальные, что также позволило уменьшить длину магнитопровода.

Выполнен поверочный расчет характеристик ПЭД базовой конструкции и выполненного с использованием 3D технологий на основе применения методик [1] и [2], реализованных в программе Mathcad 15. В программной среде FEMM проведено математическое моделирование распределения магнитных и тепловых полей рассматриваемых ПЭД для различных режимов работы.

На основе полученных расчетных данных выполнен сравнительный анализ параметров и характеристик ПЭД с традиционной технологией изготовления и выполненного с использованием 3D технологий. Проведено технико-экономическое обоснование перспективности применения 3D технологий при разработке новых конструкций ПЭД. Даны рекомендации по использованию аддитивных технологий при создании погружных электродвигателей с повышенными технико-экономическими показателями.

Литература

1. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин. — М.: Издательство Юрайт, 2012. — 767 с.
2. **Счастливый Г.Г., Семак В.Г., Федоренко Г.М.** Погружные асинхронные электродвигатели. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 168 с.

М.С. Венцеров, асп.;
рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТКАХ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА БАЗЕ ТОЧНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В крупных электрических машинах, таких как турбо- и гидрогенераторы, применяется стержневая обмотка, представляющая собой сложный и дорогостоящий узел, определяющий надежность всего устройства. Значительная часть отказов генераторов происходит из-за обмотки статора. Длительные простои агрегатов на электростанциях оборачиваются крупными штрафами для генерирующих компаний, а частичная или полная перемотка статора, в свою очередь, требует значительных затрат. Отказы, вызванные разрядной активностью в пазу с последующим пробоем корпусной изоляции, являются одной из распространенных причин отказов генераторов. Как показывает практика, пазовый разряд может вызвать полное разрушение корпусной изоляции за 1–2 года эксплуатации [1].

Для подавления разрядной активности применяется система коронозащиты, представляющая собой полупроводящие покрытия в виде лент или эмалей с добавлением графита. Принцип действия покрытия заключается в выравнивании электрического поля между стенкой паза и поверхностью изоляции. Выбор оптимального удельного сопротивления полупроводящего покрытия чрезвычайно важен при проектировании обмотки статора. При слишком малом значении сопротивления стержень будет замыкать листы сердечника между собой, что приведет к росту индуцированных в покрытии токов и соответствующему нагреву всего статора. При слишком большом значении сопротивления полупроводящее покрытие не обеспечивает достаточного выравнивания поля. В технической литературе [2] оптимальные свойства полупроводящих покрытий указываются в виде широкого диапазона (2–3 порядка). Анализ электромагнитного поля в активной зоне машины с использованием современных инструментов численного моделирования позволит точно определить свойства защитных покрытий, обеспечивающих надежную работу системы изоляции обмотки, а значит, и электрической машины в целом.

Литература

1. **Самородов Ю.Н.** Дефекты генераторов. — М.: ЗАО «Энергетические технологии», 2005. — 350 с.
2. **Kerszenbaum I., Klempner G.** Handbook of Large Turbo-Generator Operation and Maintenance. — John Wiley & Sons, 2018.

Ф.А. Крайнов, студ.,
рук. А.О. Сидоров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СКОСА ПАЗОВ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Важным процессом для достижения технологической эффективности асинхронных двигателей является применение на роторе и статоре скоса пазов. В асинхронных машинах пазы ротора скошены, а пазы статора являются прямыми. Сам скос пазов короткозамкнутого ротора представляет собой скрученные на небольшой угол кольца стержней «беличьей клетки».

Скос пазов применяют по следующим причинам: уменьшение шума и вибраций при работе двигателя; сглаживание кривой крутящего момента ротора при его разных положениях; устранение явления «залипания» ротора; уменьшение высших гармоник ЭДС, вызванных пульсациями магнитного потока из-за наличия зубцов. Интенсивность скоса пазов ротора определяет коэффициент скоса, связанный с углом скоса соотношением:

$$k_{\text{ск.}} = 2 \sin(\gamma_{\text{ск.}}/2) / \gamma_{\text{ск.}}$$

Целью работы является изучение гармонического состав ЭДС при четырёх разных геометриях скоса пазов, а именно: прямой (без скоса), обычный скос, v-образный и скос со смещением. По результатам исследования получены графики: гистограмма тока в стержнях ротора от гармонических составляющих ЭДС, временные диаграммы момента и осевой силы на холостом ходу асинхронного двигателя.

Литература

1. **Вольдек А.И.** Электрические машины // Энергия, 1978.
2. **Н. Kometani, S. Sakabe, K. Nakanishi**, Senior, «3-D Electro-magnetic Analyses of A Cage Induction Motor with Rotor Skew» IEEE, June 1996.
3. **Yoshihiro KAWASE** (Mem), «Effects of Shape of Skew and Number of Rotor Slots on Interbar Current of Squirrel-cage Induction Motor», 2017.

А.А. Костенко, асп.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

Актуальность рассматриваемой темы вызвана стремительным развитием энергетической отрасли в нашей стране. С каждым годом потребность в электроэнергии растет, создавая необходимость в вводе новых и оптимизации эксплуатации существующих генерирующих мощностей. Одной из основных проблем при эксплуатации генераторов является сложность оценки их состояния и прогнозирования проведения ремонтных работ.

В настоящее время по всему миру ведётся разработка систем мониторинга состояния машин в реальном времени. Основная идея использования этих систем состоит в отслеживании показаний датчиков и обработки их специализированными алгоритмами с целью определения состояния оборудования без необходимости вывода его из эксплуатации [1].

Описываемый подход позволяет существенно оптимизировать эксплуатацию генерирующих мощностей за счет определения аварийных состояний на раннем этапе, до наступления серьезных экономических последствий. Кроме того, применение подобного подхода позволит перейти к обслуживанию генераторов по состоянию от обслуживания по календарному плану, которое практикуется в настоящее время [2].

В рамках настоящей работы выполнен анализ существующих подходов к разработке цифровых двойников электрических машин и оценка возможности их использования в системах онлайн мониторинга. Проведен обзор применяемых в настоящее время интеллектуальных систем мониторинга, основывающихся на применении математических моделей контролируемых объектов.

Также в ходе работы разработана математическая модель магнитной системы турбогенератора в программе EasyMAG3D, предназначенная для анализа параметров машины в различных режимах. На основе расчетных данных разработанной модели планируется построение цифрового двойника.

Литература

1. **Isidor Kerszenbaum, Relu Ilie.** “IEEE Guide for Online Monitoring of Large Synchronous Generators (10 MVA and Above)”
2. **Moussa, C., Ai-Haddad, K., Kedjar, B., & Merkhouf, A. (2018).** “Insights into Digital Twin Based on Finite Element Simulation of a Large Hydro Generator.” IECON 2018 — 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.

*К.В. Кузин, асп.; конс. А.О. Сидоров, к.т.н., доцент;
рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПАЗОВЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

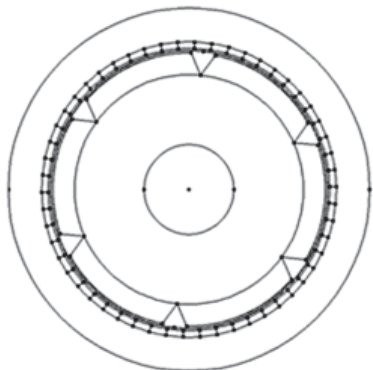


Рис. 1. Поперечное сечение беспазового синхронного генератора с постоянными магнитами

Беспазовые синхронные машины с постоянными магнитами в настоящее время находят применение во многих отраслях промышленности. Их особенностью является отсутствие зубцово-пазовой зоны. Использование такой конструкции позволяет добиться повышения энергетических показателей, а также улучшить различные характеристики электрических машин, в том числе массогабаритных показателей [1].

На основании проведенного обзора существующих решений [2], [3] была выбрана конструкция и выполнен расчет синхронного генератора с постоянными магнитами. Для разработки методики расчета и проектирования беспазовых синхронных машин с постоянными магнитами исполь-

зовалась методика проектирования электрических машин с зубчатым статором.

По результатам проведенного аналитического расчета исходной зубцовой конструкции выполнено математическое моделирование методом конечных элементов в программном комплексе FEMM. Определены необходимые корректировки в используемую методику расчета для возможности проектирования беспазового синхронного генератора с постоянными магнитами. С целью определения адекватности полученных результатов в программе FEMM был выполнен полевой расчет полученного генератора (рис. 1).

Литература

1. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **Копалов И.П.** Проектирование электрических машин. М.: Издательство Юрайт, 2022.
3. **А.И. Яковлева, М.А. Затучной, В.Н. Меркушева, В.Н. Пашкова** Расчет и проектирование ветроэлектрических установок с горизонтально-осевой ветротурбиной и синхронным генератором на постоянных магнитах. Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003.

Д.А. Кондрашов, асп.;
рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ГИБРИДНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Рост уровня электрификации в современном мире требует увеличения количества вырабатываемой электроэнергии единичными первичными источниками. Большой объем электроэнергии может быть получен путем установки более мощных агрегатов, осуществляющих выработку электричества. Однако при этом будут значительно увеличены и массогабаритные показатели этих агрегатов.

Как известно, в основе разработки новых компонентов систем электроснабжения лежит не только выбор новых инновационных материалов. Выбор наиболее оптимального метода расчета позволяет сократить общее время расчетов, а также ускорить процесс выбора наилучшего варианта из первоначального набора результатов. Сочетание наименьшего времени расчетов и кратчайшего времени перебора конечного набора результатов позволяют получить методики расчетов, в основе которых лежит метод зубцовых контуров.

Основа метода зубцовых контуров — быстрый расчет эквивалентных схем замещения магнитных цепей при сохранении точности полевого расчета. Уравнения связи между переменными состояниями магнитной цепи и переменными состояниями электрической цепи облегчают встраивание электромагнитного расчета в процедуры расчета выходных характеристик.

В данной работе описывается процесс формирования расчетной модели, способы ее решения и представления результатов с помощью расчетной методики, основанной на методе зубцовых контуров.

Для верификации разрабатываемой методики принято решение о проведении исследований над реальным экспериментальным образцом электрической машины. Выбранный образец предназначен для системы аварийного электропитания летательных аппаратов и в своей конструкции комбинирует три обособленные электрические машины, объединенные в единую систему. Такой подход позволяет добиться отсутствия вращающихся контактов при коммутации.

Литература

1. **Кузнецов В.А.** Универсальный метод расчета магнитных полей и процессов электрических машин с дискретно распределенными обмотками. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МЭИ, 1990.
2. **Ширинский С.В.** Методы анализа электрических машин: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2017, 256 с.

П.П. Баранов, студ.;
рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИВОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Имея свои преимущества и недостатки, электромобили получили внимание среди потребителей, и поэтому ведущие производители автомобилей занимаются разработкой этих машин. Электромобили не обошли стороной и Россию, в крупных городах с развитой электрической сетью они пользуются спросом, и российские производители транспорта также разрабатывают свои версии электромобилей.

Ключевым элементом электромобиля является электродвигатель. Во многих старых зарубежных и современных российских моделях электромобилей в приводе используется трехфазный асинхронный двигатель. Это дешевая и надежная электрическая машина, но имеющая большие размеры на единицу мощности. Альтернативой ей является синхронный двигатель с постоянными магнитами. Данная электрическая машина имеет существенные преимущества для автономного электромобиля: лучший КПД и меньшие габариты на ту же мощность, чем у асинхронного двигателя. Но синхронный двигатель обладает недостатком – он дороже в производстве, что компенсируется его достоинствами, особенно если в приводе электромобиля используется одна силовая электрическая машина.

Практически все крупные иностранные производители, такие как Tesla или Toyota, работают над улучшением конструкции синхронных электродвигателей для электромобилей. Они разработали и используют свой гибрид – синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами. Такой двигатель позволяет добиться большого пускового момента и эффективной работы на малых скоростях, как у синхронного двигателя с постоянными магнитами, и эффективной работы на высоких скоростях, как у синхронного реактивного двигателя.

В данной работе спроектирована и выполнена оптимизация конструкция синхронного реактивного двигателя с постоянными магнитами с построением ее модели в программном комплексе «COMSOL Multiphysics» с целью получения эффективной конструкции электродвигателя для отечественных электромобилей.

Литература

1. **SAENITK** : IPMSynRM Motor : [сайт]. — URL: <https://saenitk.wordpress.com/2021/10/10/ipmsynrm-motor/> (дата обращения: 06.11.2023)
2. **COMSOL**® : Motor Tutorial Series : [сайт]. — URL: <https://www.comsol.ru/model/motor-tutorial-series-110261> (дата обращения: 06.11.2023)

Е.Н. Великая, студ.;
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИММЕТРИРУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Тяговые нагрузки электрифицированной железной дороги переменного тока создают существенную несимметрию в питающей трехфазной сети, нагрузка по каждой из фаз получается разной, напряжения в каждой фазе получаются разными, коэффициент мощности (фазовые углы) отличаются. Такой режим негативно сказывается на работе всех электрических машин, рассчитанных на симметричную трехфазную систему.

В том случае, если единичная мощность нагрузки велика, распределить её по фазам только за счет подключения на разные фазы разных потребителей не получится. В этом случае имеет смысл использовать специальные схемы электроснабжения, такие как схема Скотта (ее называют также Т-схемой Скотта или просто Т-схемой).

В современной электротехнике и электроэнергетике (электротермия, электротранспорт и др.) система трансформаторов Скотта применяется при питании мощных однофазных или двухфазных потребителей или группы потребителей от трехфазной сети для минимизации возникающей при этом токовой несимметрии.

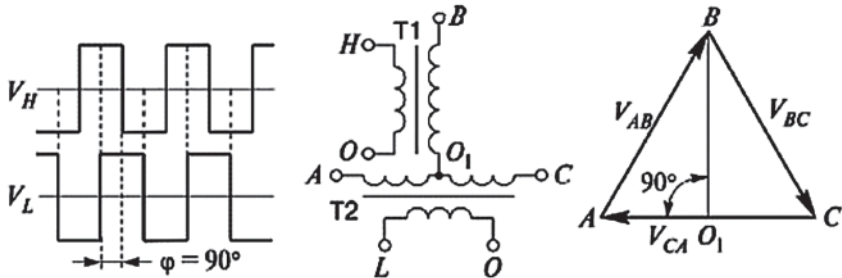


Рис. 1. Принцип работы трансформатора Скотта на примере формирования трехфазной системы напряжений

Симметрирование тяговой нагрузки дает значительный экономический эффект. Использование симметрирующих трансформаторов на тяговых подстанциях позволит избежать штрафов за плохое качество электроэнергии и снизить эксплуатационные расходы железных дорог.

Для создания имитационной модели выполнено моделирование трансформатора Скотта в программе MATLAB Simulink.

Литература

1. Назаров С.Л., Удинцев В.Н., Бычков С.А., Тарасов Ф.Е., Беавоги П., Абдулаев Ж.О. Преобразователи числа фаз в электротехнологии. 2019.
2. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Энергоатомиздат 1986.

*А.Ю. Мажонок, студ.;
рук. В.А. Кузьмичев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ПРИВОДА ГРЕБНОГО ВИНТА ЛЕДОКОЛА



Рис. 1. Вентильно-индукторный двигатель

В качестве электропривода гребных винтов ледоколов используются синхронные двигатели. Задача данной работы состоит в разработке вентильно-индукторного двигателя для данного практического применения и оптимизации его конструкции по критериям улучшения массо-габаритных показателей и снижения уровней шума и вибрации.

Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) — интеллектуальный электромеханический преобразователь энергии. Он объединяет свойства электрической машины и системы регулируемого электропривода.

В состав данного комплекса входит: индукторная машина, преобразователь частоты, система управления, датчик положения ротора. По результатам работы была спроектирована 3-фазный ВИД с индукторной машиной конфигурации 48/32 мощностью 12,5 МВт, рассчитаны его характеристики и проведена оптимизация конструкции.

В качестве прототипа был использован синхронный двигатель аналогичной мощности. Проектирование проведено по методике, описанной в [1]. Расчет статических характеристик проводился в программе конечно-элементного анализа магнитных полей FEMM. Расчет рабочих характеристик проводился в программном комплексе ANSYS. Оптимизация проводилась на основе методов, описанных в [2] путем подбора оптимальных: конфигурации индукторной машины, размера ярма статора и параметров алгоритма управления двигателем.

Литература

1. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели. М.: Издательство МЭИ, 2011.
2. **Лопухина Е.М.** Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности // Учебное пособие / Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. — М.: Высш. шк., 2002 — 511с.: ил.

И. Рахманов, асп.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

В настоящее время все большее распространение в промышленности получают высокоскоростные электроприводы на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами. Это обусловлено рядом преимуществ таких двигателей: высоким КПД, надежностью, компактностью, широким диапазоном регулирования скорости [1].

В работе рассмотрены аналогичные конструкции двигателей, метод расчета и конструирования. Проведена широкая оптимизация и получены улучшенные характеристики.

В ходе проведения испытания была проведена оценка сопротивления изоляции, ее электрическая прочность и получены значения момента. Проведена оценка метода расчета и натурных испытаний. Разработаны методы оптимальной намотки статора электродвигателя с возможностью увеличения заполнения катушки.

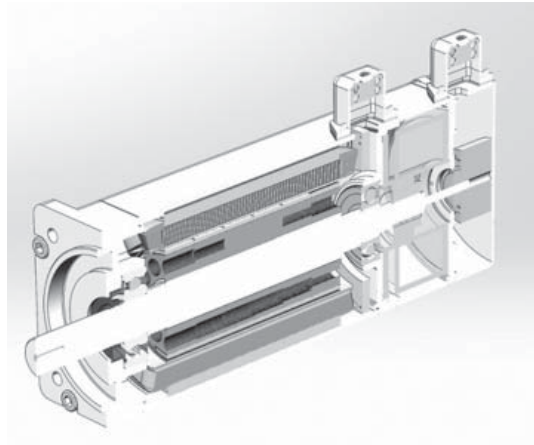


Рис. 1. Электродвигатель в разрезе

Литература

1. **А.А. Майоров, А.Р. Сафин.** Возможности применения в электродвигателях постоянных магнитов без редкоземельных элементов.
2. **Копылов И.П.,** Проектирование электрических машин, Москва «Энергия» 1980 г.
3. **ГОСТ 16264.0-2018** Машины электрические малой мощности.
4. **ГОСТ 16264.2-2018** Двигатели синхронные.
5. **ГОСТ 11828-86** Машины Электрические вращающиеся.

Р.Э. Гришина, студ.; рук. И.С. Иванов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИЙСКОГО И СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОГО ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В последнее десятилетие MatLab и его приложение Simulink стали популярными среди инженеров для моделирования динамических процессов. Однако, с переходом на использование российского программного обеспечения [1], возникла необходимость найти альтернативы MatLab или разработать новое ПО.

Одной из альтернатив MatLab Simulink является отечественный пакет программ SimInTech, который был разработан специально для создания схем и моделей электрических машин и систем. Разработка моделей и алгоритмов управления происходит в виде структурного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений. SimInTech позволяет разрабатывать как простые модели, подробно описывающие поведение конкретной системы (например, RLC-контур с источником питания), так и сложные модели, которые включают в себя описание не только самой системы, но и алгоритмов управления, защиты, интерфейсов управления и т.д.

Еще одним альтернативным инструментом является Scilab. Это одна из мощнейших и наиболее функциональных программ, аналог MatLab. Представляет собой интерпретируемый язык программирования и множество математических пакетов, которые позволяют быстро получить правильное решение уравнений и задач. Программа предоставляется бесплатно и имеет открытый исходный код.

В работе проводится анализ применимости этих программ для моделирования динамических процессов в электрических машинах и сравнение их функционала с MatLab.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 16.11.2015 № 1236** «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд» // Собрание законодательства РФ. — 23.11.2015. — № 47. — Ст.6600.

А.В. Егоров, студ.;
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВОК

Актуальность исследования заключается в постоянном развитии ветроэнергетики и необходимости выбора оптимального типа генераторов для ветроустановок. Данное исследование направлено на обоснование выбора синхронных генераторов на постоянных магнитах и оценку их преимуществ в сравнении с другими типами генераторов.

Исходные данные для исследования: ветрогенератор с горизонтальной осью вращения, ВЭУ автономная (управляется шагом ветроколеса и нагрузкой), мощность ВЭУ 5–20 кВт, диаметр ветроколеса 6,4–10 м., период вращения 0,3–0,4 с, скорость ветра 12 м/с–25 м/с, плотность воздуха 1,2 кг/м³.

Мощность, развиваемая ветроколесом:

$P = C_p A \frac{\rho u^3}{2}$ где C_p — коэффициент мощности, A — площадь ометения, ρ — плотность воздуха.

Функция распределения скорости ветра (распределение Реллея) [1]:

$$\Phi_u = \frac{2u}{c^2} \exp \left[-\left(\frac{u}{c}\right)^2 \right].$$

где c — средняя скорость ветра.

Энергия, переданная ветровым потоком ветроустановке:

$$E = \int_{u=0}^{\infty} E_u du = \int_{u=0}^{\infty} \left[\frac{1}{2} \rho u^3 C_p (\Phi_u T) \right] du.$$

В качестве метода сравнительного анализа предлагается моделирование различных типов генераторов при различных ситуациях из перечня предложенных условий работы ветровой установки. Плотность воздуха считать постоянной, скорость ветра учитывать при стандартных метеорологических условиях с усреднением показаний за период 10 минут.

Литература

1. Дж. Твайделл, А. Уэйр, Возобновляемые источники энергии (Перевод В.А. Коробкова). Москва, Энергоатомиздат, 1990 г.

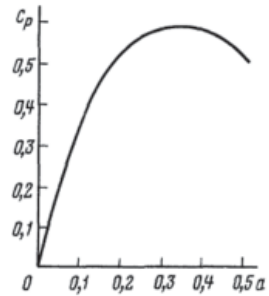


Рис. 1. Зависимость коэффициента мощности C от коэффициента торможения потока a

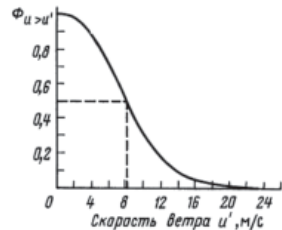


Рис. 2. Усредненная функция вероятности скорости ветра

А.А. Красный, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

Электромашиностроение — конкурентный сектор промышленности. Компании постоянно ищут способы оптимизации производства и снижения издержек, не снижая при этом качество продукции. Аддитивные технологии предоставляют возможность сделать это.

Одним из основных преимуществ аддитивных технологий в электромашиностроении является возможность создания сложных геометрических форм, которые трудно или невозможно получить с использованием традиционных методов обработки материалов, таких как токарная и фрезерная обработка. Благодаря 3D-печати можно создавать детали любой формы и сложности, что расширяет возможности в проектировании и производстве электромеханического оборудования.

Еще одним важным преимуществом аддитивных технологий в электромашиностроении является возможность создания уникальных и индивидуальных деталей. Благодаря этому, компании могут проектировать и производить более эффективное и функциональное оборудование, которое соответствует требованиям заказчиков. Это позволяет производить электромеханическое оборудование, которое лучше сочетается с условиями эксплуатации и обеспечивает более высокую производительность.

Кроме того, аддитивные технологии также открывают новые возможности для создания инновационных решений в электромашиностроении. Они позволяют реализовать идеи, которые ранее казались невозможными из-за ограничений традиционных методов производства.

В работе проводится анализ применимости аддитивных технологий в электрических машинах и сравнение двигателя, сконструированного традиционными технологиями с двигателем, в котором используется технология 3D-печати.

Литература

1. **Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б.** Технологии аддитивного производства. М.: Техносфера, 2020.
2. **Wrobel, R.; Mecrow, B.C.** A Comprehensive Review of Additive Manufacturing in Construction of Electrical Machines. IEEE Trans. Energy Convers. 35. 2020.

М.Ф. Тупеков, студ; рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С СОВМЕЩЕННЫМИ ОБМОТКАМИ НА СТАТОРЕ

В последнее время широко исследуется вопрос повышения энергоэффективности промышленных предприятий. Во многих отраслях промышленности используется большое количество асинхронных двигателей различной мощности, с номинальным напряжением 1000 В и частотой 50 Гц. Такие электродвигатели потребляют большую часть от всей вырабатываемой электрической энергии. Поэтому тема поиска новых способов повышения энергоэффективности является актуальной.

Одним из способов повышения энергоэффективности для асинхронного двигателя является применение совмещенной обмотки на статоре (обмотка типа «Славянка»). Как видно из названия метода, вся его суть заключается в использовании дополнительных обмоток, которые располагаются в тех же пазах, что и основная обмотка, и соединяются друг с другом.

Асинхронные двигатели с совмещенной обмоткой на статоре нашли применение во многих сферах деятельности человека: военная техника, машины для добычи полезных ископаемых, электротранспорт, электроинструмент и машины, используемые в строительстве.

Такой способ модернизации способствует увеличению пускового и минимального моментов в пределах 10–20%, уменьшению пускового тока в тех же пределах, повышению на 10–15% мощности электродвигателя, повышению надежности, снижению потерь в стали в 2,5–3 раза, и также повышению КПД в большом диапазоне нагрузок.

В данной работе была рассмотрена методика перерасчета обычной обмотки асинхронного двигателя на совмещенную, на примере двигателя серии 4А на основе методики [1], выполнен расчет модернизированного двигателя, построены пусковые и рабочие характеристики. В программной среде FEMM 4.2 проведено моделирование магнитных полей стандартного и модернизированного асинхронных двигателей.

При сравнении полученных при расчете и моделировании данных был сделан вывод, что данный вид модернизации двигателя позволяет заметно повысить КПД и пусковой момент.

Литература

1. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин. — М.: Издательство Юрайт, 2012. — 767 с.

Д.А. Жгутов, студ.; рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧИСЛА ФАЗ

На сегодняшний день системы индукционно-резистивного нагрева (скин-системы) или в дальнейшем ИРСН, основанные на поверхностном эффекте проводников переменного тока, являются наиболее оптимальными для решения задачи электрообогрева длинных трубопроводов.

Мощность современных ИРСН, являющихся однофазными нагрузками, сегодня достигает нескольких сотен киловатт, поэтому в системах электроснабжения такого электронагревательного оборудования необходимо равномерное распределение нагрузки.

Одним из способов уменьшения несимметрии токов питающей сети является использование специального трансформаторного преобразователя по схеме Скотта. Использование данного преобразователя позволяет добиться равномерного распределения мощности по фазам при питании мощных однофазных потребителей, например, индукционно-резистивных систем нагрева.

В настоящий момент трехфазно-двухфазный преобразователь Скотта нашел свою область применения в местах, где требуется питание достаточно мощных как однофазных, так и двухфазных нагрузок или устранение несимметрии созданной группой таких потребителей.

Трансформатор Скотта представляет из себя два однофазных трансформатора соединенных в общий трансформаторный агрегат.

В данной работе были выполнены расчеты двух однофазных трансформаторов по методике, описанной в [1], выполнено моделирование трансформатора для питания ИРСН в программе Matlab Simulink и получены графики токов, по которым видно, что происходит симметрирование токов.

Параметры трансформаторов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры трансформаторов

Трансформатор	S, кВА	$U_{ВН}$, В	$U_{НН}$, В	u_k , %	$P_{кз}$, Вт	$P_{хх}$, Вт
Высотный	176	8760	1922	5	4852	704
Базисный	176	10012	1922	5	3683	704

Литература

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вут зов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

И.А. Грачев, студ.;
рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПО ВНЕШНЕМУ МАГНИТНОМУ ПОЛЮ

В последние годы хорошо показал себя метод определения повреждений электрических машин по распределению внешнего магнитного поля (ВМП), который позволяет не внедряться во внутрь машины. В ИГЭУ проводились такие эксперименты.

На кафедре электромеханики проводился эксперимент по выявлению повреждений обмотки возбуждения синхронного генератора по изменению распределения ВМП. Для фиксации составляющих поля был разработан специальный трёхкоординатный датчик. В эксперименте было замечено, что в случае, когда все катушки работали исправно, поле распределялось неодинаково относительно оси, что объясняется наличием эксцентриситета. Было решено связать распределение ВМП со значениями конкретного эксцентриситета. Для их выявления можно использовать тот же самый коэффициент несимметрии поля, что и при повреждениях обмотки возбуждения [1, 2, 3].

В настоящее время разрабатывается метод выявления статического эксцентриситета ротора синхронного генератора по ВМП. Будут использоваться два трёхкоординатных датчика расположенных в разных плоскостях поперечных оси на диаметральной расстоянии. Будут выбраны плоскости по торцам и центру сердечника. Положение ротора относительно статора фиксируется немагнитными прокладками.

Стоит задача нахождения различий проявлений во ВМП повреждений обмотки возбуждения и наличия эксцентриситета. Наиболее сложной задачей явится выявление динамического эксцентриситета.

Литература

1. **Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский.** Диагностика электромагнитных несимметрий по внешнему полю электрических машин, ФГБОУ ВО «Тольяттинский гос. ун-т», Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 376–380.
2. **Морозов, А.Н.** Коэффициент несимметрии поля при повреждениях обмотки возбуждения неявнополюсной синхронной машины, Иваново, 2021. — Т. 3. Электротехника. С. 196–198.
3. **Океанский, А.П.** Диагностика электромагнитных несимметрий синхронных машин на основе анализа внешнего электромагнитного поля, М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2018. — С. 359.

*Д.С. Вечеркин, М.Р. Турчинович, студенты;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТУРБОГЕНЕРАТОР АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В современном мире энергетика имеет множество направлений, и все они так или иначе связаны между собой. Атомная энергетика и электроэнергетика тесно взаимосвязаны и постоянно взаимодействуют друг с другом. По поручению президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина рост доли электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями, во всем энергобалансе нашей страны должен увеличиться до 25% к 2045 году, для этого необходим ввод двадцати четырех новых блоков, в каждом из которых должен быть установлен один или несколько турбогенераторов. Из всего вышесказанного следует, что проектирование турбогенератора для атомной электростанции является весьма актуальной задачей в свете современных требований.

Турбогенераторы атомных электростанций обладают рядом особенностей. Они обладают значительно большей номинальной мощностью и габаритами по сравнению с турбогенераторами для других электростанций.

Следовательно, система охлаждения турбогенератора атомной электростанции должна быть наиболее эффективной, то есть иметь высокую теплоотводящую способность, также в её составе не должны применяться горючие и взрывоопасные вещества.

Турбогенератор атомной электростанции должен удовлетворять требованиям по надежности, так как атомные электростанции обеспечивают базовую нагрузку на энергосистему, следовательно, стабильное производство электроэнергии должно продолжаться даже в условиях колебаний температуры или других факторов.

В работе рассмотрены особенности конструкции генераторов ТВВ-500-2 и ТВФ-200-2 для применения на атомных электростанциях, проведен поверочный электромагнитный расчет численным методом и построены картины магнитного поля.

В.Е. Шоронов, студ.;
рук. В.А. Филиппов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК В СИСТЕМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО СЕПАРАТОРА

Магнитожидкостная сепарация является относительно новой и перспективной технологией разделения немагнитных материалов [2] при этом, имеет преимущество по точности разделения в сравнении с традиционными методами сепарации [1]. В классическом варианте магнитожидкостный сепаратор (МЖС) работает на постоянном токе.

Данная работа посвящена исследованиям возможности применения переменного тока в системе возбуждения МЖС. Переменный ток более доступен и распространён на предприятиях. При его использовании создастся

дополнительная переменная составляющая силы, помогающая продвижению сепарируемого материала тем самым, исключая его «залипание» к полюсам магнитной системы.

На данный момент создан прототип МЖС с шихтованной магнитной системой, на рисунке 1 представлена 3D модель прототипа. В рамках исследований планируется оценить эффективность МЖС в таком режиме питания.

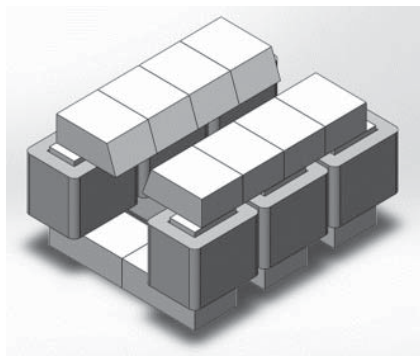


Рис. 1. 3D модель исследуемого прототипа МЖС

Литература

1. **Филиппов, В.А.** Повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов: специальность 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Филиппов Василий Александрович. — Самара, 2020. — 134 с. — EDN SKQOXP.
2. **Морозов, Н.А.** Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. — Иваново: ФГБОУВПО ИГЭУ, 2011. — 264 с. ISBN 978-5-89482-772-8.

*Д.К. Аджиев, асп.; рук. В.С. Ларин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
конс. А.Н. Панибратец, вед. науч. сотр.
(ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Москва)*

ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ МОЩНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Стойкость при коротких замыканиях (КЗ) — одна из ключевых характеристик, определяющих надежность работы силовых трансформаторов. Возможности существующих испытательных лабораторий часто не позволяют проводить испытания на стойкость при коротких замыканиях мощных силовых трансформаторов [1]. В мировой практике для экспериментального подтверждения стойкости при КЗ блочных трансформаторов большой мощности в последнее время в качестве альтернативы рассматривают проведение испытаний масштабных (существенно уменьшенных) макетов (моделей) трансформаторов [2]. За рубежом такие макеты известны под названием mock-up или mock-up unit. Несмотря на то, что нормативные документы на эту тему пока отсутствуют, при определенных условиях и по согласованию между потребителем и изготовителем такой макет считается прототипом, и положительные результаты его испытаний на стойкость при КЗ могут быть использованы для подтверждения стойкости при КЗ трансформатора-оригинала.

В настоящее время в РФ отсутствует значимый опыт создания и испытаний таких макетов. Наиболее показательным примером испытания макетов является опыт энергокомпании «Электрисите де Франс» (EDF), полученный в рамках выполнения программы продления срока службы атомных электростанций (АЭС) во Франции, включающей замену блочных трансформаторов мощностью 570 МВА напряжением 420/20 кВ, отработавших свой нормированный срок службы.

В докладе рассмотрены основные принципы и зарубежный опыт (по данным МЭК и CIGRE) разработки, расчетов и испытаний на стойкость при КЗ масштабных макетов мощных однофазных силовых трансформаторов, а также правила распространения результатов испытаний макета на реальный трансформатор с целью подтверждения его стойкости при КЗ. Показана возможность разработки и испытаний таких макетов для подтверждения надежности мощных трансформаторов российского производства.

Литература

1. **Ларин В.С.** Силовые трансформаторы. Испытания на стойкость при коротких замыканиях // *Новости Электротехники*. — 2017. №2-104-3(105). — С. 34–37.
2. **G. Leber, H. Passath, M. Ryadi, P. Hurlet.** Short Circuit Verification for a 570 MVA, 420 kV single-phase GSU-Transformer by SC-Withstand Tests on a Mock-up Unit // 45th CIGRE Session, report A2-201, Paris, France, 2014.

Е.Д. Смирнов, студ.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЕ

Развитие систем мониторинга электрических машин является актуальной тематикой во всем мире. Это касается, в частности, агрегатов большой мощности, которые вырабатывают электроэнергию на электростанциях.

Одним из перспективных способов мониторинга является анализ внешнего магнитного поля машины [1]. Данный метод заключается в установке устройств, основанных на датчиках Холла, на корпус машины, что не требует внесения конструктивных изменений в электрическую машину.

Для выявления целесообразности использования данного метода были проведены серии моделирований, результатами которых являются картины внешнего поля турбогенератора, работающего в различных режимах — без дефекта, с дефектом отколотого зубца магнитопровода статора и при асимметрии токов статорной обмотки машины.

Результаты получены в форме графиков сигнала (магнитной индукции) от угла положения считывающего датчика (рис. 1). Датчики поля при моделировании располагались на разном расстоянии от поверхности статора, а поле рассчитывалось вдоль трёх линий — на торце статора и на определенном расстоянии от него. Анализ полученного распределения магнитного поля показал наличие характерных изменений при появлении дефектов, которые можно наблюдать при измерении внешнего поля.

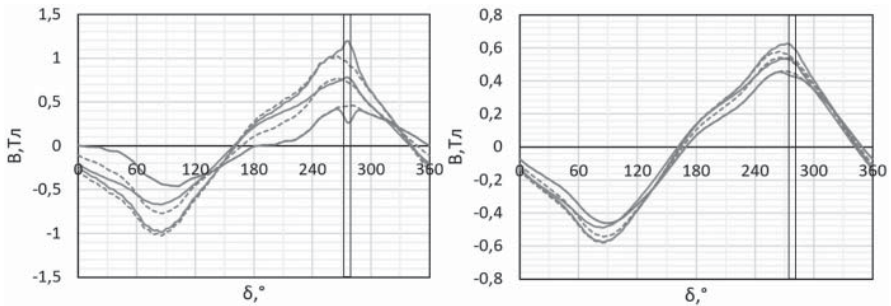


Рис. 1. Графики зависимости индукции в осевом направлении от расположения датчика, расположенного на расстоянии 235 и 435 мм от поверхности статора (сплошной линией обозначена картина при дефекте, а пунктирной — при нормальной работе)

Литература

1. А.Н. Морозов, Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, С.А. Нестеров. “Идентификация по внешнему магнитному полю внутренних электромагнитных дефектов неявнополюсных синхронных генераторов”, 2022.

К.Б. Болеки, студ.;
рук. С.В. Ширинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИКА ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ КОНГО

На протяжении нескольких десятилетий Демократическая Республика Конго (ДРК) борется с затяжным и многогранным энергетическим кризисом. Конголезский энергетический рынок, на котором преобладают неэлектрические товары, представляет собой постоянно растущий потребительский рынок. Электроэнергия составляет лишь 3% доли энергетического рынка, и большинство потребителей и сельских домохозяйств имеют низкие и очень ограниченные доходы, которых недостаточно для покрытия их основного спроса на электроэнергию на постоянной основе. Это контрастирует с тем фактом, что ДРК обладает гигантским потенциалом различных энергетических ресурсов, как возобновляемых (древесная энергия, гидравлическая, солнечная, геотермальная энергия и т.д.), так и невозобновляемых (запасы нефти, природного газа, угля, урана, сланцевые), битуминозные и т.д.), но на сегодняшний день очень мало ценится или почти не эксплуатируется. Проблемы электрификации включают логистические трудности, связанные с установкой товаров на месте и удаленной эксплуатацией и обслуживанием, а также желание и способность потребителей платить (очень высокие доходы). ДРК является частью Повестки дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года (Повестка дня на период до 2030 года), посвященной Целям устойчивого развития (ЦУР), принятой в сентябре 2015 года международным сообществом. И именно с учетом этого ДРК сделала повестку дня на период до 2030 года ориентиром, на котором базируется ее политика развития. Целью является достижение своих целей и приоритетных задач, позволяющих конголезцам жить в лучшем будущем в балансе со своей экосистемой посредством энергетического, промышленного и продовольственного суверенитета.

В докладе рассматривается структура энергетического сектора ДРК, перспективы его развития и примеры энергетических объектов.

Литература

1. UNDP-CD-Politique Nationale de l'Energie de la RDC Version Rev de mai

И.В. Новиков, асп.;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМА И ВИБРАЦИЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВМЕЩЕННЫХ ОБМОТОК

К частотно-регулируемым асинхронным двигателям (АД) предъявляются высокие требования по уровню шума и виброактивности. В АД при работе в регулируемом приводе от преобразователя частоты (ПЧ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения с несущей частотой модуляции до нескольких кГц вследствие присутствия в питающем напряжении, токах и магнитном потоке АД высших временных гармоник из-за высокочастотной магнитострикции ферромагнитных сердечников, колебаний обмотки и пульсаций электромагнитного момента повышается до 15 дБ электромагнитный шум [1, 2].

Плотность волн сил вибрации определяется квадратом амплитуд гармоник магнитного потока АД. Вибрации и излучаемый уровень звукового давления могут быть существенно снижены даже при небольшом уменьшении спектра гармоник магнитного поля в зазоре частотно-регулируемого АД. Снижение электромагнитного шума в трехфазных АД при работе от ПЧ возможно при использовании вместо трехфазных 6-зонных обмоток совмещенных 12-зонных обмоток, состоящих из двух трехфазных обмоток, одна из которых соединена в «треугольник», другая в «звезду», выполненных со сдвигом магнитных осей фазных зон обмоток в пространстве на угол $\pi/6$. При подключении обеих обмоток на общее трехфазное напряжение сети возникает фазовый сдвиг токов в обмотках на $\pi/6$ периода. Форма распределения магнитного поля у 12-зонных обмоток ближе к синусоиде, чем у 6-зонных обмоток, меньше высшие пространственные гармонические поля, вибрации и электромагнитный шум.

Таким образом электромагнитный шум АД при работе от ПЧ с ШИМ напряжения их-за высших временных гармоник напряжения, тока и магнитного потока в определенной степени можно компенсировать применением совмещенной обмотки со сниженным электромагнитным шумом от высших пространственных гармоник магнитного поля.

Литература

1. **Электронный ресурс:** eldin.ru/catalog-2023_06_01.pdf (обращение 10.11.2023).
2. **Казаков Ю.Б., Бондаренко Ю.И.** Влияние несинусоидальности питающего напряжения на виброшумовые характеристики асинхронных двигателей // Вестник ИГЭУ. — 2015. № 3. С. 34–38.

*Е.В. Щетинин, соиск. (УГТУ, Ухта);
рук. А.А. Кириякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НА ГИСТЕРЕЗИС В ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ СИНХРОННЫХ МАШИН С МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

На сегодняшний день, основными превалирующими магнитными потерями в постоянных магнитах (ПМ) синхронных машин с магнитоэлектрическим возбуждением являются потери на индуцированные токи, при этом потери на гистерезис (ПГ) в магнитах либо не учитывают, либо рассчитывают по упрощенным формулам [1]. Однако, ПГ в ПМ могут увеличиваться за счет неравномерности магнитного поля на поверхности постоянных магнитов, вызванных пространственными гармониками, а также в виду механических повреждения магнитов и разрушения их доменных структур, приводящих к увеличению магнитомягких фаз, которые увеличивают ПГ в объеме магнитных материалов [2]. ПГ в таком случае могут оказаться превалирующими, поэтому учет магнитных потерь в ПМ в роторах синхронных машин необходим.

ПГ по всему объему ПМ, возможно определить численно методом конечных разностей, задав граничные условия из расчета магнитного поля на поверхности магнита. Потери определяются исходя из энергии гистерезисной петли в расчетной области ПМ:

$$W_{\Gamma} = \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} B_{\text{верх}}(H)dH - \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} B_{\text{низ}}(H)dH,$$

где H_{\max} и H_{\min} — максимальное и минимальное значения напряженности магнитного поля, $B_{\text{верх}}$ и $B_{\text{низ}}$ — верхняя и нижняя линии петли гистерезиса.

Для определения ПГ предлагается использовать модель гистерезиса Джайлза-Атертона второго типа [3] (JA-II). Начальные условия для модели задаются из расчета магнитного поля по всему объему ПМ. Расчет ПГ показал, что потери на поверхности ПМ могут составлять до 10% от всех общих потерь в роторе.

Литература

1. **Chas. P. Steinmetz**, On the law of hysteresis, Am. Inst. Electr. Eng. Trans., vol. IX, no. 1, pp. 1–64, Jan. 1892.
2. **D. Egorov et al.**, Hysteresis loss in NdFeB permanent magnets in a permanent magnet synchronous machine, IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 69, no. 1, pp. 121–129, Jan. 2022.
3. **Денисов П.А.** Описание петли гистерезиса с использованием явных выражений для модели Джилса-Атертона второго уровня // Изв. вузов. Электромеханика. 2018. Т. 61, № 1. С. 6–12.

М.В. Филиппова, студ.;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СЕПАРИРУЮЩЕЙ СИЛЫ В МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ СЕПАРАТОРАХ НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Магнитожидкостный сепаратор (МЖС) служит для разделения немагнитных материалов по плотности, принципиальная конструкция которого представлена на рисунке 1. Для качественной сепарации материалов необходимо постоянно сепарирующей силы, как по объему магнитной жидкости (1), так и во времени. С первым требованием позволяет справиться применение полюсных наконечников (2) специальной гиперболической формы [1]. Решению второго требования посвящена данная работа.

Выталкивающая сила, действующая на немагнитное тело, помещенное в магнитную жидкость, находящуюся в неоднородном магнитном поле, зависит от магнитных свойств жидкости, которые, в свою очередь, зависят от температуры, намагниченности насыщения магнитной жидкости, концентрации магнитных частиц в жидкости, интенсивности магнитного поля, в котором находится жидкость, и т.д. [2]. Поэтому при работе магнитожидкостного сепаратора из-за нагрева магнитной жидкости, частичного ее уноса и других технологических процессов, неизбежно изменение сепарирующей силы, величина которой определяет скорость и точность разделения сепарируемой смеси.

Использование обратной связи при управлении возбуждением МЖС, позволит избежать негативных эффектов, связанных с изменением во времени силы сепарации. Для этого, в рабочем зазоре МЖС помещается поплавок (3) с тензодатчиком (4), сигнал с которого обрабатывается системой управления питанием обмотки возбуждения (5).

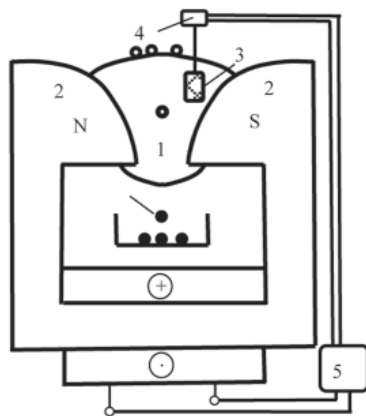


Рис. 1. Конструкция МЖС

Литература

1. Берковский Б.М., Медведев В.Ф., Краков М.С. Магнитные жидкости. — М.: Химия, 1989. — 240 с.
2. Казаков Ю.Б., Страдомский Ю.И., Нестеров С.А., Филиппов В.А. Уточненный электромагнитный анализ магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов // Вопросы электротехнологии. — №3(32), 2021. — С. 15–26.

Д.А. Ромашкин, студ.;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЁТ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТЭЦ МЭИ

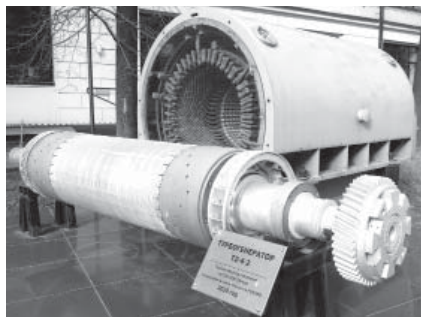


Рис. 1. Турбогенератор Т2-4-2

Турбогенератор является неотъемлемой частью энергосистемы, используется на теплоэлектростанциях, теплоэлектроцентралях и атомных электростанциях, предназначен для выработки электроэнергии. На территории НИУ «МЭИ» расположена уникальная учебно-экспериментальная ТЭЦ, которая была введена в эксплуатацию ещё в 1950 году. На этой ТЭЦ отработал 53 года генератор Т2-4-2.

Целью данной работы является поверочный расчёт турбогенератора ТЭЦ МЭИ, построение его эксплуатационных характеристик. Расчёт производится по методике [1]. Номинальные данные турбогенератора: мощность 4 МВт, номинальное напряжение 6,3 кВ, частота вращения 3000 об/мин.

По результату расчёта проводится сравнение рассчитанных данных с реальными характеристиками генератора ТЭЦ МЭИ. Данный генератор представлен на рисунке 1.

Полученные данные позволяют проверить метод расчёта.

Литература

1. **Извеков В.И.** Проектирование турбогенераторов. М.: Издательство МЭИ, 2005. — 440 с.

А.Н. Ворочалков, студ.;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Асинхронные двигатели повсеместно используются в деятельности человека, знание параметров их схемы замещения (СЗ) крайне важно для работы с преобразователями частоты, системами управления электродвигателей и для их использования в математическом моделировании. Существуют разные методики расчета этих параметров. Точность расчетов крайне важна, ведь малейшие отклонения значений параметров могут привести к некорректной работе системы управления или большим погрешностям при моделировании.

Целью работы является выявление наиболее точных, простых, практически доступных методик расчета параметров по каталожным данным АД.

В работе проведено сравнение шести методик, описанных в учебной литературе и научных статьях российских авторов. Анализ проводится для асинхронных машин мощностью от 0,55 до 110 кВт. При сравнении полученных данных с ожидаемыми каталожными значениями [1] взяты параметры средней величины отклонения, и на их основе сделаны выводы о точности и применимости методов.

Наиболее точными являются итерационные методики, к примеру, методика [3]. Наилучшие средние показатели в точности вычислений имеют методики [2] и [3]. Самой сомнительной является методика [4], у которой наблюдается самое большое отклонение рассчитанных и ожидаемых параметров, порой погрешность составляет более 90%.

Полученные результаты расчетов параметров СЗ различными методиками позволяют определить целесообразность их применения и преимущества одних методов над другими.

Литература

1. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболевская Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник — М.: Энергоатомиздат, 1982 г. — 504 с., ил.
2. **Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С.** Электрический привод — 2009 год. — С. 17–29.
3. **Прищепов М.А.** К вопросу о расчете параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным // Энергетика Транспорт 2021 год — С. 23–27.
4. **М.С. Макеев, А.А. Кувшинов,** Алгоритм расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным — 2012 год — С. 1–5.

З.В. Кудряшова, студ.;
рук. А.О. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ СКОСА ПАЗОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В настоящее время асинхронный двигатель является составной частью большинства промышленных установок. Он отличается высокой надежностью и относительно низкой стоимостью. В последние десятилетия проводились исследовательские работы по снижению акустического шума асинхронных двигателей от радиальных электромагнитных сил, которые создаются высшими гармониками электромагнитного поля. В целях улучшения виброакустических показателей асинхронного двигателя, а также повышения его КПД, ротор этой электрической машины выполняется со скошенными пазами относительно его продольной оси [1].

Данная работа посвящена исследованию разновидностей скосов пазов и определению наиболее эффективного с точки зрения подавления высших гармоник магнитного поля и улучшения акустических показателей асинхронного двигателя. Среди вариантов выполнения скоса пазов рассматриваются: одинарный скос, который в зарубежной литературе чаще всего называется «стандартным»; двойной скос; двойной скос по типу «ёлочка» [2].

Для уменьшения гармонических составляющих спектра электромагнитного поля в зазоре асинхронного двигателя в исходной модели рассматривался одинарный скос. В ходе исследования установлено, что асинхронный двигатель, имеющий скос пазов ротора [3], имеет более низкие радиальные электромагнитные силы за счет подавления высших гармоник магнитного поля.

Анализ различных вариантов выполнения скоса показал, что самым эффективным из них является скос пазов в виде ёлочки. Объясняется это тем, что амплитуда радиальной электромагнитной силы при таком скосе наименьшая. Соответственно использование таких пазов на роторе позволяет в большей мере снизить шум и вибрацию по сравнению с использованием одинарного и двойного скосов.

Литература

1. **S.E. Zouzou, A. Ghoggal, A. Aboubou, M. Sahraoui, H. Razik.** Modeling of Induction Machines with Skewed Rotor Slots Dedicated to Rotor Faults.
2. **Chunyu Wang, Xiaohua Bao, Sheng Xu, Yang Zhou, Wei Xu, Yuanyang Chen.** Analysis of Vibration and Noise for Different Skewed Slot Type Squirrel-Cage Induction Motor.
3. **Do-Jin Kim, Jae-Woo Jung, Jung-Pyo Hong, Kwang-Jin Kim, and Chul-Jun Park.** A Study on the Design Process of Noise Reduction in Induction Motors IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 48, NO. 11, NOVEMBER 2012.

Д. Ганин, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

В настоящее время на современных гидроэлектростанциях генераторы включаются в распределительную сеть через повышающие трансформаторы. Недостаток этого метода — КПД передачи электроэнергии снижается. Поэтому ещё с 70-х годов XX века ведутся работы по разработке высоковольтных генераторов, которые можно включить в распределительную сеть напрямую.

В работе приведён исторический обзор развития синхронных генераторов, рассмотрены технологии производства отечественных и зарубежных высоковольтных синхронных генераторов, методы расчёта и конструирования. Проведена оценка возможности разработки новых высоковольтных генераторов и включения их в распределительную сеть.

Включение напрямую, без повышающего трансформатора, высоковольтного синхронного генератора в распределительную сеть имеет ряд преимуществ: уменьшение затрат на производство трансформаторов, улучшение экологической ситуации в мире, так как трансформаторы заполняются специальным маслом, которое при его работе испаряется, и повышение КПД передачи электроэнергии.



Рис. 1. Вид сверху на гидрогенератор 16.9 МВ А, 110 кВ

Литература

1. **Иванов-Смоленский А.В., Пинталь Ю.С., Лошкарев В.П., Бесчастных Г.А.** Проблемы создания высоковольтных генераторов на напряжения 110–500 кВ. — Труды Всемирного электротехнического конгресса. — М., 1977.

А.В. Кутерман, студ.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами нашли широкое применение в станочном оборудовании, ведь они обладают высокой эффективностью и могут работать с меньшими потерями по сравнению с другими типами электродвигателей. Неоспоримым преимуществом данного типа машин является высокая плотность мощности на кг веса, это означает, что они могут быть более компактными и легкими.

При разработке были рассмотрены схожие по типу и конструкции двигатели компаний Fanuc и Siemens. Главной задачей работы является на базе российских производств разработать электродвигатель, который будет применяться в металлорежущих станках, и будет обладать улучшенными характеристиками. Такими как: КПД, момент.

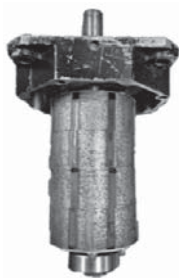


Рис. 1, 2. Ротор СМПИМ компании Fanuc



Рис. 3. Статор СМПИМ компании Fanuc

В процессе исследования было подобрано подходящее расположение и структура магнитов на роторе двигателя. Произведена оценка полученных характеристик.

Литература

1. **Ф.М. Юферов** «Электрические машины автоматических устройств» 1988 г.
2. **С.А. Попов, В.И. Кривченко, М.А. Асташов, С.В. Попова** «Обзор магнитных структур роторов синхронных двигателей с постоянными магнитами» 2021 г.
3. **Копылов И.П.**, Проектирование электрических машин, Москва «Энергия» 1980 г.

*О.А. Морозов, студ., И.А. Рахманов, асп.;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ТЯГОВОГО АКСИАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время в современных конструкциях электрических самолетов аксиальные тяговые электродвигатели получили широкое распространение. Это обусловлено рядом преимуществ таких двигателей: высокий КПД, надежность, компактностью, высокой плотностью крутящего момента [1].

В работе рассмотрены аналогичные конструкции двигателей, методы расчета и конструирования. Проведена оценка возможности замены турбовинтового двигателя самолета на разработанный аксиальный электродвигатель.

При одинаковых технических характеристиках разработанный двигатель имеет меньшие габариты. Такая замена позволит повысить КПД, снизить экономическую составляющую эксплуатации, а вследствие улучшить летно-технические характеристики. Замена позволяет уменьшить выброс NO , CO_2 и NO_2 на 33% и потребления топлива на 50% [1], снизить массу самолёта и повысить надежность эксплуатации.

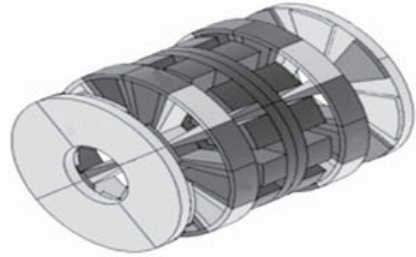


Рис. 1. Электродвигатель

Литература

1. **Zhuoran Zhang, Weiwei Geng, Ye Liu, Chen Wang**, Feasibility of a New Ironless-stator Axial Flux Permanent Magnet Machine for Aircraft Electric Propulsion Application, CES Transactions on Electrical Machines and Systems Volume: 3, Issue: 1, March 2019, Pages 30–38, ISSN 2096-3564, doi: 10.30941/CESTEMS.2019.00005.

А.Д. Зорин, студ. ;
рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗУБЦОВЫЕ ОБМОТКИ ДЛЯ ЭМ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ

На сегодняшний день зубцовая обмотка, также известная как сосредоточенная, все больше применяется в электрических машинах с высокой удельной мощностью. Это связано с большим количеством достоинств данной обмотки. Наибольшее распространение данный тип обмотки нашёл в синхронных машинах с постоянными магнитами, благодаря чему улучшаются характеристики данного типа электрических машин.

В данной работе был проведен обзор статей [1–3], описывающих исследования зубцовых обмоток, в которых приведены их достоинства, в частности повышение удельной мощности синхронной машины с постоянными магнитами, недостатки и способы их компенсации, а также описания различных областей применения.

В работе проведен анализ МДС и магнитного поля электрической машины с зубцовой обмоткой, имеющей число пазов на полюс и фазу меньше единицы, в системе моделирования ELCUT и проведен расчёт по методике [4]. В качестве прототипа выбран линейный генератор с заданными параметрами: число пазов $Z=12$, число полюсов $2p=14$, число фаз $m=3$.

Литература

1. **Ayman M. EL-Refaie.** Fractional-Slot Concentrated-Windings Synchronous Permanent Magnet Machines: Opportunities and Challenges // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 57, NO. 1, JANUARY 2010, pp. 107–121.
2. **Ayman M. EL-Refaie, Manoj R. Shah.** Comparison of Induction Machine Performance with Distributed and Fractional-Slot Concentrated Windings.
3. **Ayman M. EL-Refaie, James P. Alexander, Steven Galioto, Patel B. Reddy, Kum-Kang Huh, Peter de Bock, and Xiochun Shen.** Advanced High-Power-Density Interior Permanent Magnet Motor for Traction Applications // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 50, NO. 5, SEPTEMBER/OCTOBER 2014.
4. **Беспалов В.Я., Коварский М.Е., Сидоров А.О.** Исследование обмотки с дробным q машин переменного тока // Актуальные проблемы электромеханики и электротехнологий АПЭЭТ-2017: сборник научных трудов. — Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2017. — С. 131–136.

Д.А. Серов, студ.; рук. В.Б. Баль, доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛИНЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА АВТОМОБИЛЯ

В результате исследований и экспериментов для решения проблемы колебаний кузова грузовика при неровных дорогах были созданы специальные устройства — электродинамические амортизаторы, которые интегрируются в подвеску автомобиля. Генераторы для электродинамических амортизаторов — это устройства, которые преобразуют механическую энергию колебаний амортизатора в электрическую.

В настоящее время основной целью исследований является повышение эффективности работы амортизатора и уменьшении потерь при передаче энергии. Для повышения качества работы электродинамического амортизатора можно подобрать оптимальную зависимость силы от перемещения ротора в амортизаторе, что определяет эффективность амортизатора в поглощении ударов и вибраций. Чем больше сила амортизации при заданном смещении, тем больше энергии можно получить от линейного генератора. Однако, слишком большая сила амортизации может привести к уменьшению комфорта и устойчивости транспортного средства, на котором установлен амортизатор.

В ходе работы были изучены конструкции и принцип работы генератора, проведены соответствующие аналитические расчеты для определения: размеров генератора и потерь.

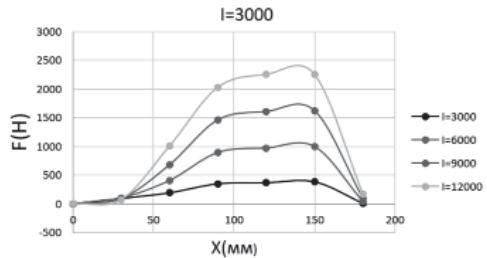


Рис. 1. Зависимость усилия от перемещения при постоянном токе

Литература

1. Альпер Н.Я. Терзян А.А. Индукторные генераторы. — М.: Энергия, 1972.
2. Баль, В.Б., Геча, В.Я., Гончаров, В.И., Ежов, Е.В., Чиркин, В.Г., Ширинский, С.В., Петриченко, Д.А. Линейные машины возвратно-поступательного действия — типы и конструкции электрических машин. — М.: Энергоатомиздат, 1985.

М.А. Голубев, студ.;
рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВИТКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭКРАНИРОВАННЫМИ ПОЛЮСАМИ

В настоящее время асинхронные двигатели с экранированными полюсами активно используются в тех приводах, где не требуется больших пусковых моментов, например, в вентиляторах, в кондиционерах.

Широкое распространение АДЭП приводит к необходимости усовершенствования конструкции двигателя и оптимизации его параметров.

В процессе проектирования АДЭП наступает этап, когда надо выбирать активное сопротивление $2r$ последовательно соединенных витков из достаточно широкого диапазона рекомендуемых значений [1]. Для выполнения поставленной задачи в качестве объекта исследования был выбран двигатель с экранированными полюсами со следующими номинальными данными: мощность 20 Вт, напряжение 220 В, синхронная частота вращения 1500 об/мин. В табл. 1 приведены результаты расчетов АДЭП по методике [2], реализованной в Mathcad 15.

Таблица 1. Энергетические показатели проектируемого АДЭП

Показатели	Приведенное к обмотке возбуждения активное сопротивление $2r$ последовательно соединенных витков, r'_3					
	300	350	450	550	650	750
$\eta \cos \varphi$, о.е.	0,161	0,163	0,178	0,168	0,156	0,140

Из табл. 1 видно, что величина активного сопротивления витков оказывает влияние на энергетические показатели АДЭП. Используя функцию регрессии общего вида `genfit` в Mathcad 15, нашли коэффициенты функции, аппроксимирующей зависимость $\eta \cos \varphi = f(r'_3)$.

$$\eta \cdot \cos \varphi = \frac{144 \cdot r'_3}{177800 + r'^2_3}$$

Приравняв 0 производную по r'_3 , получили значение r'_3 , при котором произведение $\eta \cos \varphi$ становится максимальным ($r'_3 = 422$ Ом). Это значение и следует использовать при проектировании данного двигателя.

Литература

1. **Ермолин Н.П.** Электрические машины малой мощности. М.: Высш. школа, 1967.
2. **Шишкин В.П.** Автоматизированное проектирование однофазных асинхронных двигателей с экранированными полюсами // Учебное пособие, ИГЭУ, 2019.

Р.В. Лебедев, студ.;
рук. А.Д. Лхамдондог, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Любое оборудование имеет срок службы, который может варьироваться в зависимости от условий эксплуатации. Существуют различные способы увеличения долговечности приводного электродвигателя, одним из которых является тиристорное устройство плавного пуска.

При прямом включении пусковые токи способны превышать в 11–13 раз номинальное значение и во время увеличения частоты вращения технологического механизма в 5–8 [1]. Такие броски тока способны создавать сильные электродинамические усилия в обмотках электродвигателя. В результате длительной работы в таких условиях соединительные элементы могут прийти в негодность и создать аварийный режим.

Тиристорные устройства плавного пуска со звеном постоянного тока способны преобразовывать выходной сигнал в требуемые значения напряжения, частоты и тока. Силовые тиристорные модули могут работать с напряжениями до 15 кВ.

Устройство имеет инновационную функциональную возможность, а именно, переключение работы электродвигателя в режим рекуперации. С помощью данной опции, помимо увеличения срока службы, появляется возможность в экономии электроэнергии.

В результате исследования было определено, что применение тиристорных пусковых устройств повышает срок службы приводного электродвигателя и снижает вероятность возникновения аварии.

Литература

1. **Сарбатова. С.** Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе. М.: Энергия, 1980.

А.И. Козлов, студ.; рук. Мье Мин Тант, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЕНТИЛЬНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Вентильный генератор (ВГ) — это машинно-электронный генерирующий комплекс, состоящий из последовательно включенных электрической машины (ЭМ) и выпрямительного блока (ВБ). В последнее время он обозначается более обобщенным и адекватным термином как МЭГС-1 [1]. На практике МЭГС-1 используется как самостоятельно, так и совместно с инверторным блоком, превращаясь в систему ПСПЧ (переменная скорость — постоянная частота), которая обозначается сегодня также как МЭГС-2 [2].

В настоящей работе приводятся результаты поиска (на основе структурно-алгоритмического синтеза) нового решения задачи стабилизации выходного напряжения МЭГС-1, выполненного на базе синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов (обозначаемого также, как магнитоэлектрический генератор — МЭГ), который работает в условиях широкого диапазона изменения возмущающих воздействий по частоте вращения приводного вала и по току нагрузки. В качестве средства решения поставленной задачи используется способ многоканального преобразования (МКП) энергетического потока. При этом структура каждого канала выполняется в виде 3-х фазного диодного моста с корректором коэффициента мощности (ККМ), на силовом входе которого установлены дроссели переменного тока, а к его выходу подключены полностью управляемый ключевой элемент, например, транзистор и цепочка из последовательно соединенных разделительного диода и накопительного конденсатора. Функциональная особенность топологии M канального выпрямительного блока состоит в том, что он обеспечивает результирующий входной коэффициент мощности близкий к единице, что позволяет улучшить показатель удельной мощности не только электрической машины, но при определенных условиях даже и МЭГС-1 в целом. Исследование проведено (при общепринятых допущениях) на основе имитационное компьютерное моделирования в среде *OrCAD*. Приведены результаты исследований регуляровочной и внешней характеристик. Сформулированы предварительные рекомендации, необходимые для системного проектирования МЭГС-1.

Литература

1. **Мыцык Г.С., Мье Мин Тант.** Вентильный магнитоэлектрический генератор с коррекцией входного коэффициента мощности его выпрямительного блока // Промышленная энергетика, 2022, № 12. — С. 11–20.
2. **Мыцык Г.С., Мье Мин Тант.** К вопросу системного проектирования электротехнического комплекса «Переменная скорость — постоянная частота» // Электричество, 2018, № 2. — С. 34–42.

Э.А. Амерханов, студ.;
рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Исследование последних тенденций в развитии типов электродвигателей в контексте электрических автомобилей позволяет выявить перспективы развития электропривода в будущем [1]. В современном мире, где автомобиль становится все чаще применяемым, выбор оптимальных типов электродвигателей для электрических автомобилей представляет собой ключевой момент в обеспечении эффективности и стабильности их работы.

Электродвигатели, применяемые в автомобилях, должны отвечать особым требованиям, поскольку они часто запускаются и останавливаются, требуют высокого ускорения для быстрого старта и должны функционировать в сложных условиях. Электродвигатели для автомобилей должны обеспечивать высокий КПД в широком диапазоне скоростей и крутящего момента и удельную мощность. Так, наиболее используемыми двигателями являются асинхронные, синхронные и вентильные реактивные двигатели [2].

Асинхронные электродвигатели отличаются простотой конструкции и высокой надежностью при переменной нагрузке. Однако их недостатками являются сложное управление на низких скоростях, низкий коэффициент мощности при небольших нагрузках, высокие пусковые токи, низкая эффективность. Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами имеют высокую эффективность и компактные размеры, но при их проектировании нужно учитывать возможность размагничивания. Вентильные реактивные двигатели обладают расширенным диапазоном мощности, способны работать при высоких температурах, имеют низкую инерцию ротора и высокий пусковой крутящий момент, но имеют такие недостатки, как высокие пульсации крутящего момента, сложное управление, высокие уровни вибрации и акустического шума. В данной работе не рассматривались щеточные двигатели постоянного тока и синхронные двигатели с фазным ротором, т.к. они не удовлетворяют требования по КПД и плотности мощности для силовых установок автомобилей.

Литература

1. **J. Zhao, W. Fu, Y. Zheng, Z. Chen and Y. Wang.** Comparative Study of Modular-Stator and Conventional Outer-Rotor Flux-Switching Permanent-Magnet Motors. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38297–38305, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2890163.
2. **Safin A.R.** Traction electric motors for electric vehicles that do not contain rare earth elements // *Bulletin of the Kazan State Energy University*. — 2021. — Т. 13. — №. 1 (49).

И.А. Стерлигов, студ. ;
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОЛЫМ РОТОРОМ

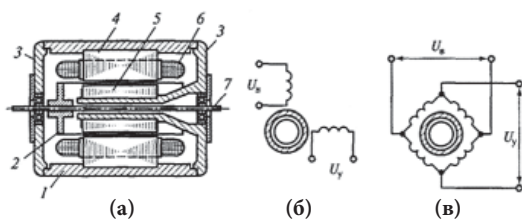


Рис. 1. Конструкция асинхронного исполнительного двигателя с полым немагнитным ротором: (а) — поперечный разрез; (б) — раздельная электрическая схема обмотки статора; (в) — мостиковая электрическая схема обмотки статора; 1 — корпус; 2 — ротор; 3 — щит подшипниковый; 4 — статор внешний; 5 — статор сердечник внутренний; 6 — обмотка статора; 7 — ось.

(200, 400, 500 Гц). Частота вращения двигателей (синхронная) колеблется от 1500 до 30 000 об/мин.

Двигатели мощностью менее 3 Вт изготавливаются несколько иначе. Их обмотки возбуждения и управления размещаются в пазах внутреннего статора, и тогда внешний статор не имеет пазов и служит лишь для уменьшения магнитного сопротивления.

К положительным свойствам относится: 1) малый момент инерции ротора, что в совокупности со значительным пусковым моментом обеспечивает быстрое действие двигателя; 2) электромеханические постоянные времени T_M подавляющего большинства современных двигателей не превышают 60 мс;

К недостаткам двигателей с полым немагнитным ротором относятся: 1) низкий КПД; у большинства двигателей даже в номинальном режиме $\eta_n = 0,2...0,4$ и значительно уменьшается при регулировании; 2) низкий КПД объясняется большими электрическими потерями в обмотке статора вследствие большого намагничивающего тока и полым роторе вследствие его большого активного сопротивления.

В данной работе планируется произвести анализ статических характеристик исполнительных двигателей при различных схемах включения; также спроектировать асинхронный двигатель с полым ротором и сделать Математическая модель Simulink.

Литература

1. Лопухина Е.М. «Асинхронные исполнительные микродвигатели для систем автоматики»
2. Чечет Ю.С. «Управляемый асинхронный двигатель с полым ротором».

А.Н. Губко, студ.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МАГНИТНЫХ ПЕРЕДАЧ И ОБЛАСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Задачей механических передач является согласование режима работы приводного двигателя и исполнительного механизма путем передачи и преобразования механической энергии (изменение характера движения и характеризующих его величин).

С точки зрения конструкции, магнитные передачи можно разделить на две большие группы. Первая группа — традиционные магнитные передачи, их конструкция основывается на конструкции механических передач путем замены зубьев зубчатых колес парами полюсов постоянных магнитов, передача крутящего момента осуществляется с помощью магнитной связи, однако максимальная величина передаваемого момента уступает механическим аналогам. Вторая группа — магнитные передачи с модуляцией поля. В магнитных передачах этого типа происходит модуляция магнитных полей постоянных магнитов с помощью ферромагнитных сегментов, расположенных между двумя роторами. В отличие от традиционных магнитных передач, передачи такого типа способны передавать большой крутящий момент, сравнимый с моментом механических передач.

Все магнитные передачи обладают преимуществами над их механическими аналогами, а именно: бесшумная работа, защита привода от перегрузки, бесконтактная передача крутящего момента, отсутствие трения.

Магнитные передачи могут найти применение в области электрического транспорта и ветроэнергетике, однако их широкое применение в промышленности на сегодняшний день не является обоснованным [1].

Целью работы является обзор известных на сегодняшний день магнитных передач. Рассмотрены возможные конфигурации магнитных системы магнитных передач, проанализированы достигнутые параметры. Проведено сравнение эффективности конструкций между собой и с их механическими аналогами. Выполнен анализ применимости магнитных передач в различных областях электротехники и электроэнергетики.

Литература

1. **Ruiz Ponce, Gerardo Enrique & Arjona, Marco & Hernandez, Concepcion & Escarela-Perez, Rafael.** (2023). A Review of Magnetic Gear Technologies Used in Mechanical Power Transmission. *Energies*. 16. 1721. 10.3390/en16041721.
2. **O. Molokanov, P. Dergachev, V. Kiruhin and P. Kurbatov,** «Analyses and experimental validation of coaxial magnetic planetary gear,» 2014 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2014, pp. 1–4, doi: 10.1109/SIELA.2014.6871876.

Секция 22

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

Physics and technologies of materials and components

Председатель секции:

д.т.н., профессор Серебрянников Сергей Владимирович

*Секретари секции: к.т.н., с.н.с. Тихонов Антон Иванович,
Матасов Антон Владимирович*

*А.Е. Евсюков, Р.В. Щербаков, В.Г. Ковальчук,
Н.М. Аркадов, М.В. Селихова, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛЬ СИЛЬНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ЧАСТИЦЫ В ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ ВИХРЕЙ АБРИКОСОВА

Сверхпроводники II рода являются перспективными материалами для применения в различных устройствах.

Основной проблемой в изучении сверхпроводников является отсутствие общей теории сверхпроводимости, так как теория Бардина-Купера-Шриффера не способна объяснить существование высокотемпературных сверхпроводников. Одним из шагов к формулировке основной теории является создание модели, описывающей динамику сверхпроводящего состояния.

В данной работе рассматривается модель сильной связи для расчета зонной структуры сверхпроводящей частицы в треугольной решетке вихрей Абрикосова. В отличие от других моделей, описывающих динамику сверхпроводящего состояния как движение вихревой решетки или основанных на теории солитонов, данная модель учитывает квантовую природу сверхпроводимости.

В ходе работы была рассчитана зависимость энергии от волнового вектора сверхпроводящей частицы в треугольной решетке вихрей Абрикосова, найдена зависимость эффективной массы сверхпроводящей частицы от межвихревого расстояния и выполнен другой ряд задач, которые могут послужить одной из основ при создании общей теории сверхпроводимости.

В.А. Кошуро, к.т.н.;

рук. А.А. Фомин, д.т.н., доц. (СГТУ имени Ю.А. Гагарина, Саратов)

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «ТИ-ТИС» НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ИНДУКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИМ ВАКУУМНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ТИТАНОВОЙ МИШЕНИ

Металлообработывающий инструмент, функционирующий в условиях воздействия ударных нагрузок, изготавливают из быстрорежущих сталей. Функциональные свойства сталей и инструмента в целом повышают термической и химико-термической обработкой, а также нанесением покрытий [1]. В настоящее время функциональные слои наиболее часто формируют PVD и CVD методами. Перспективным является развитие технологически простых и производительных методов термического вакуумного распыления, которые основаны на испарении металлов при нагреве до определенной температуры [2]. В результате моделирования доказана возможность использования высокочастотного индукционного нагрева [3]. Цель работы заключалась в исследовании состава, структуры и твердости слоев, сформированных на стали индукционно-термическим вакуумным распылением (ИТВР) титановой мишени.

Напыление титана на стальные (сталь 1.3343 аналог P6M5) закаленные образцы размером 10×10×4 мм проводилось на индукционной установке «ВЧ-15А» при токе индуктора 3,2–4,2 кА, длительности распыления 300, 600 и 900 с. Процесс осуществлялся с использованием кварцевой камеры, внутри которой располагались стальная пластина, титановая трубчатая мишень и формировалось давление 55±25 Па. Индуктор располагался с внешней стороны камеры.

Исследования позволили установить, что на стальных закаленных пластинах в процессе ИТВР формировались слои, состоящие из α-Ti и TiC, характеризующиеся наличием на поверхности структурных элементов размером 0,68–1,3 мкм и твердостью 16,4–60,5 ГПа (1672–6169 HV_{0,49}).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования метода ИТВР для формирования высокотвердых и износостойких покрытий на изделиях из быстрорежущей стали.

Литература

1. **Верещака А.С., Верещака А.А.** Функциональные покрытия для режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. №. 6. 28–37.
2. **Olson D.L., Siewert T.A., Lie S., Edwards G.R.** Welding, Brazing, and Soldering: ASM handbook // ASM International. 1993. V. 6.
3. **Koshuro V.A., Fomin A.A.** Numerical simulation of induction vacuum deposition of titanium on steel plates // Progress in Biomedical Optics and Imaging — Proceedings of SPIE. 2021. V. 11845. 118451F.

П.А. Палканов, асп.; рук. А.А. Фомин, д.т.н., доц.
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, Саратов)

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

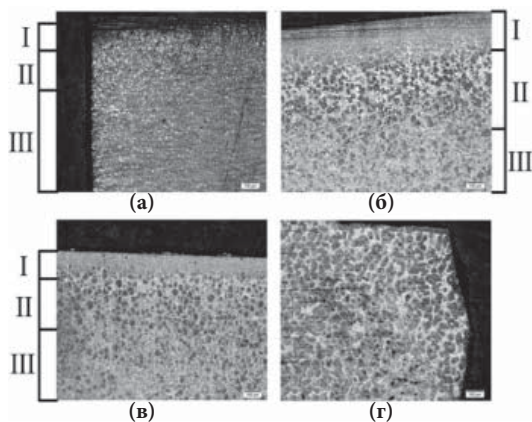


Рис. 1. Слоистая структура образцов после ИХТО, содержащей упрочненный слой (I), диффузионный слой (II) и основной металл (III): (а) — № 1; (б) — № 2; (в) — № 3; (г) — № 4 ($\times 100$)

Альтернативным методом нагрева при химико-термической обработке может являться индукционный нагрев, который позволяет проводить нагрев стальных изделий в широком диапазоне температур.

В данной работе азотирование быстрорежущей инструментальной стали Р6М5 проводилось в разработанной камере для проведения индукционной химико-термической обработки (ИХТО). Процесс ИХТО производился в температурном диапазоне более 900–1000 °С в течение 10 мин при давлении 0,2±0,05 МПа. Скорость

и температура нагрева регулировалась изменением рабочего тока от 300 до 360 А, что соответствует 1:16 величины тока индуктора для данного устройства.

При исследовании микроструктуры азотированных образцов отмечалась равномерность модифицированного нитридного слоя, толщина которого составила 160–200 мкм (Рис. 1).

Твердость образцов в исходном состоянии составляла 256±9 HV_{1,98}. Максимум микротвердости поверхности азотированных слоев стабилизировался на уровне 1928–1950 HV_{1,98}. Глубина от 30 до 250 мкм характеризовалась высокой твердостью (1694–1281 HV_{0,98}), что связано с формированием мелкодисперсных упрочняющих фаз в данной области.

Предложенный метод направлен на повышение физико-механических свойств стали и попутное снижение затрат на процесс азотирования. Данный способ не требует больших затрат на дорогостоящее оборудование и материалы, что существенно удешевляет стоимость технологии.

В.Д. Бакланов, студ.; С.А. Нестеров, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)

МАГНИТОЖИДКОСТНЫЙ ГЕРМЕТИЗАТОР КАК ДИССИПАТИВНАЯ СИСТЕМА

Магнитожидкостный герметизатор (МЖГ), как одно из основных устройств, использующих уникальные свойства магнитной жидкости (МЖ), как правило работает с повышенными требованиями к надежности и безотказности. Исследование процессов, протекающих в МЖ в составе МЖГ, с их последующим анализом и моделированием, как и совершенствование и разработка новых устройств на основе МЖ является актуальной научной задачей.

Проведено исследование диссипации энергии в объеме МЖ при различных линейных скоростях на поверхности вала МЖГ. В процессе испытаний производилась тепловизионная фиксация состояния МЖГ и потребляемая приводным двигателем мощность. Исследование проводилось для различных образцов МЖ. По результатам опытов построены зависимости температуры и момента сопротивления МЖГ от времени. Тепловизионные картины одного из испытаний представлены на рис. 1.

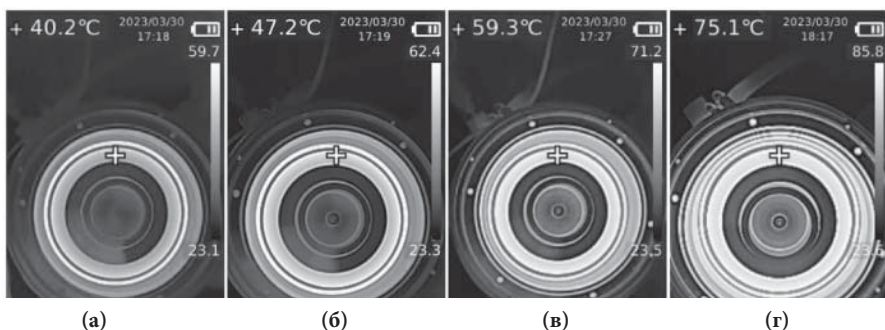


Рис. 1. Тепловое состояние МЖГ: (а) — 10 сек., (б) — 2 мин., (в) — 10 мин., (г) — 60 мин

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00156, <https://rscf.ru/project/22-79-00156/>

Литература

1. С.А. Нестеров, В.Д. Бакланов. Разработка модели и экспериментальное исследование тепловых процессов в магнитожидкостном герметизаторе // Проблемы региональной энергетики: журнал [Электронный ресурс]. — Кишинев: Институт энергетики АН Республики Молдова. — 2023. — № 2 (58). — С. 52–60.

Чуньюй Суй, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ К ТРЕКИНГУ ПОЛИОЛЕФИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Наряду с передачей электрической энергии линии электропередачи успешно могут быть использованы для подвеса кабелей связи. В отдельных случаях это может быть единственным способом для решения вопроса по организации связи в отдаленных и труднопроходимых районах. В этом случае, несмотря на повышенные эффективности использования башенных опор, в то же время кабель связи будет также вызывать возникновение электрической короны и искр вокруг себя из-за огромной напряженности поля, особенно во влажной и грязной среде [1]. Электрические разряды будут выделять много тепла на внешней изоляции кабеля (оболочке) кабеля связи. Под совместным действием высокой температуры, ультрафиолета, кислорода воздуха и других факторов окружающей среды происходит разрушение оболочки, механические свойства материала снижаются, и на поверхности появляются следы электрической коррозии в виде треков [2].

Оболочку таких кабелей нужно делать из специальных полимеров, которые устойчивы к воздействию электрических разрядов, приводящих к повреждению поверхности. Для решения проблемы трекинга, мы улучшаем стойкость к трекингу оболочки кабеля, изменив состав компонентов вводимых в материал оболочки. Мы попробовали изготовить оболочку из полиэтилена низкой плотности с добавлением мелкодисперсного порошка окиси металла, при этом исследовали влияние объемной доли добавки на электрическую характеристику материала — трекинговую стойкость и получили результат: СИТ оболочки без добавления в полиэтилен порошка составляет 450 В по прибору Tracking Test Apparatus T4-41, в то время как СИТ оболочки с добавлением уже 5 массовых процентов порошка в полиэтилен будет выше 600 В.

Литература

1. **Боев М.А., Чуньюй Суй, Таранов А.В.** Испытание оптических кабелей типа ADSS на стойкость к трекингу // *Электротехника* 2023 № 8 (12) — с. 65–69.
2. **Боев М.А., Чуньюй Суй, Чжунго Гао.** Исследование устойчивости к трекингу изоляционных материалов // *Кабели и провода* 2023 № 2 (400) — с. 24–29.

Л.А. Вассуф, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО КОМПОЗИТА

Представленные результаты исследования относятся к области силовой электротехники, производство электроизоляционных материалов для системы изоляции мощных электрических машин. Эксплуатационные свойства этих материалов по существу определяют надежность электрооборудования. Следовательно, прогресс в области изоляционных материалов определяет будущее развитие энергетических систем.

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение материала под действием приложенных внешних механических сил. Улучшение механических свойств композитов осуществляют введением в полимерную матрицу наполнителей.

Получен новый электроизоляционный материал, предназначенный для применения в качестве бандаж обмотки, витковой и основной изоляции секций и катушек как низковольтных, так и особенно высоковольтных электрических машин номинальным напряжением до 11 кВ. Материал маркирован как лента типа ЛСКВ. Композит изготовлен с применением в качестве наполнителя стеклоткани типа Э4-30 толщиной 0,03 мм и бескальциевой слюдяной бумаги типа А.506 (uncalcined muscovite mica paper 506) толщиной 0,075 мм. В качестве связующего использована смесь кремнийорганических лаков марок Ко-915 и Ко-921.

Лента типа ЛСКВ обладает следующими характеристиками: толщина 0,12 мм, по результатам механических испытаний разрывное усилие составляет более 497,4 Н, т.е. разрушающая нагрузка при растяжении превышает 165 Н/см.

Литература

1. **Вассуф Л.А, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)** Внедрение технологии создания полимерных композитов для улучшения свойств изоляционных материалов РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать девятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2023. — 1240 с. (381 с.)

Н.А. Степанова, студ.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРОВОДОВ ТИПА СИП

Самонесущие изолированные провода (СИП) самая современная конструкция провода с изоляцией из светостабилизированного сшитого полиэтилена для передачи электрической энергии в распределительных сетях на открытом воздухе. Данные провода имеют больше количество разновидностей, обусловленных условиями применения, достаточно посмотреть ГОСТ 31946-2012.

В данной работе проведены исследования провода типа СИП-2, предназначенного для работы в сети с изолированной нейтралью. Это четырехжильный провод, в котором каждая жила представляет собой многопроволочный проводник. Три фазные жилы, провода выполнены из электротехнического алюминия, а одна несущая жила — из алюминиевого сплава. Жилы скручены друг относительно друга. В данной марке СИП каждый проводник имеет изоляционное покрытие из полиэтилена. Такие провода применяют в сетях переменного напряжения 0,66/1 кВ с частотой 50 Гц.

Целью исследования являлось подтверждение долговечности провода, указанной в ГОСТ Р 52373-2005, а именно срок службы — 40 лет. Для подтверждения данного срока проведены следующие испытания.

Пять образцов провода марки СИП-2 (3x50+1x50-0.6/1) с жилами равного сечения 50 мм² методом случайного отбора взяты от партии готовых изделий. Предварительно с каждой жилы провода снято изоляционное покрытие в виде трубочек длиной не менее 150 мм. Из этих трубочек с помощью вырубного ножа сделаны образцы для механических испытаний. Проведены испытания, подготовленным таким образом образцов на растяжение до разрыва на машине типа Н10КТ. Получено значение: предел прочности при растяжении, значение которого составило 16,4 МПа, а относительное удлинение при разрыве составило не менее 360%. Затем проведены испытания образцов провода на старение. Для этого образцы выдерживали в термостате при температуре (135±3) °С в течение 168 ч. После старения повторяли механические испытания изоляции каждой жилы провода изложенным выше способом. При этом получены следующие результаты: значение предела прочности при растяжении составило 15,3 МПа, а относительное удлинение при разрыве, составило не менее 340%. Полученный результат соответствует требованию ГОСТ 31946-2012. После старения изменение предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве не превышает 25%, отсюда можно делать вывод, что исследованные провода типа СИП-2, соответствуют заданному сроку службы.

*А.А. Евсюков, Р.В. Щербаков, В.Г. Ковальчук,
М.В. Селихова, В.А. Катина, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛЬ ПРОВОДИМОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ И ПРОВОДЯЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В работе представлен новый подход к моделированию зависимости проводимости композиционных материалов от температуры. Представленная модель позволяет более точно описать зависимость сопротивления композиционных материалов, учитывая такие параметры, как коэффициенты теплового расширения диэлектрической матрицы и проводящего наполнителя, расстояние между частицами и их размер, а также изменение формы потенциального барьера в контакте металл-диэлектрик-металл.

В ходе исследования было получено следующее выражение зависимости сопротивления композиционного материала от температуры, энергии уровня Ферми, приложенного напряжения, а также высоты потенциального барьера:

$$R(T) \approx \frac{U}{I_0} \cdot \frac{\left(1 + 0.25 \exp\left(-2x \sqrt{\frac{2m}{h}(V(T) - E(T))}\right)\right)^2}{\exp\left(-2x \sqrt{\frac{2m}{h}(V(T) - E(T))}\right)} \quad (1)$$

где $E(T)$ — энергия уровня Ферми, $V(T)$ — высота потенциального барьера.

Данное выражение позволяет построить зависимость сопротивления композиционного материала от температуры учитывая напряжение на образце.

Приведенная модель представляет новый подход к анализу и проектированию композиционных материалов, что может привести к созданию более эффективных продуктов в различных отраслях промышленности. Она может служить основой для более глубокого изучения и понимания проводимости таких материалов.

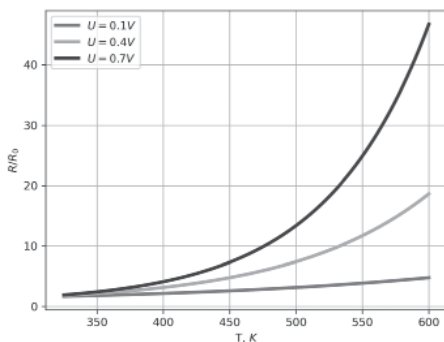


Рис. 1. Зависимость сопротивления композиционного материала от напряжения U

М.В. Селихова, студ.; рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $Y_2Cu_2O_5$ И $In_2Cu_2O_5$

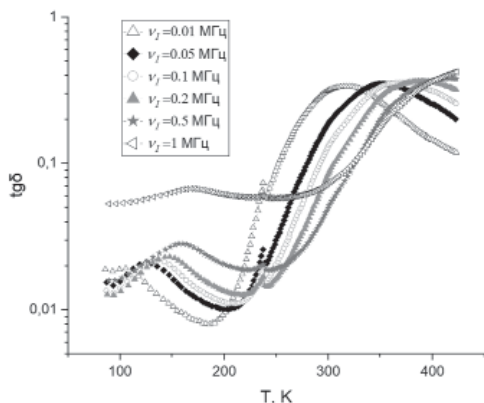


Рис. 1. Температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь при разных частотах для $In_2Cu_2O_5$

симостей диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь при разных частотах, а также была измерена зависимость электросопротивления от температуры.

На основе полученных результатов были сделаны выводы об электрических характеристиках данных материалов. Полученные данные могут расширить возможности применения соединений $Y_2Cu_2O_5$ и $In_2Cu_2O_5$ в различных технических областях.

Купраты на основе металлов Y и In имеют потенциал для применения в областях электроники и энергетики.

Так как соединения $Y_2Cu_2O_5$ и $In_2Cu_2O_5$ являются родственными по структуре оксидным медьсодержащим сверхпроводящим соединениям, то основной целью данного исследования является определение электрических и диэлектрических свойств данных соединений.

Соединения $Y_2Cu_2O_5$ и $In_2Cu_2O_5$ были синтезированы по классической керамической технологии. Были проведены измерения температурных зави-

*Р.В. Щербаков, А.А. Евсюков, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РЕГРЕССИИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Нейронные сети представляют собой мощный инструмент в области машинного обучения, способный обрабатывать и интерпретировать сложные и объемные данные. Их использование для решения задач регрессии открывает широкие возможности в научных исследованиях.

Сверхпроводники — материалы, которые могут проводить электричество без сопротивления при определенных, часто очень низких, температурах.

Традиционные методы предсказания критической температуры сверхпроводников часто требуют сложных физических экспериментов и теоретических расчетов. Однако нейронные сети могут предложить более эффективное решение за счет обработки больших объемов данных о свойствах материалов и нахождения скрытых закономерностей, которые могут быть неочевидны при традиционных подходах.

Процесс применения нейронных сетей для этой задачи может включать следующие этапы:

- 1. Сбор данных:** Был взят датасет “Supercon”. База данных “Supercon”, посвященная сверхпроводящим материалам, была собрана и поддерживается Национальной лабораторией материаловедения (NIMS) в Японии.
- 2. Предварительная обработка данных:** Был создан датафрейм с 87 входными параметрами при помощи таблицы Менделеева.
- 3. Обучение модели:** Модель была тщательно разработана с использованием десяти слоев, в качестве функции активации выбрана “ReLU” (Rectified Linear Unit). Для оптимизации процесса обучения применялся оптимизатор “Adamax”, обеспечивающий эффективную корректировку весов. Основным критерием оценки эффективности модели служила средняя квадратичная ошибка. Процесс обучения был проведен на протяжении 7000 эпох, что обеспечивает глубокую и всестороннюю адаптацию модели к обучающим данным.
- 4. Оценка и тестирование:**

MAE	MSE	R^2
5.178	157.574	0.779

Анализ показал высокую корреляцию между предсказаниями нейронной сети и реальными значениями критических температур сверхпроводников.

К.А. Роденко, Р.В. Щербаков, студенты;
рук. Д.С. Холодный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

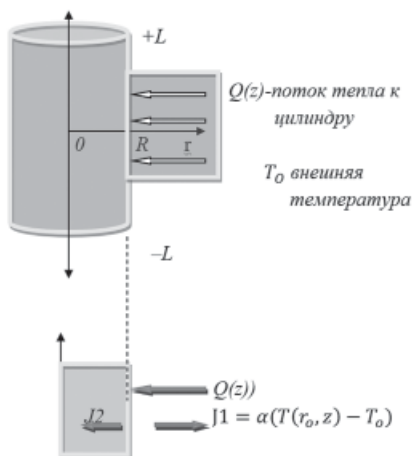


Рис. 1. Тепловые потоки, входящие в цилиндрическое тело и выходящие из него при нагреве и остывании

от радиальной и осевой координат в цилиндрической системе координат.

Результаты представляют собой детальный анализ распределения температуры в цилиндрическом объекте с боковым нагревом, что имеет практическое значение для проектирования и оптимизации технологических процессов, таких как зонная плавка, где точный контроль температуры является критически важным.

В данной работе рассматривается задача Дирихле для уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах, актуальная для понимания процессов теплопереноса в условиях нагрева цилиндрических объектов, часто встречающихся в инженерных и технологических приложениях. Основная цель — определить распределение температуры в объекте при заданных граничных условиях.

Исходя из начальных условий задачи, был проведен анализ с использованием метода разделения переменных. Процесс решения включал замену переменных и применение модифицированных функций Бесселя для выражения решения в виде ряда. Это позволило определить зависимость температуры

Г.И. Бадамшин, соиск.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ФТОРОПЛАСТОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ РАБОТЫ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Исследования в данной работе посвящены конструированию радиочастотных кабелей, предназначенных для передачи высокочастотных сигналов. В данной работе проведено сравнение передающей способности двух видов вновь сконструированных коаксиальных радиочастотных кабелей марок РК 50-2-42-С, РК 50-3-211 с фторопластовой изоляцией одинакового волнового сопротивления 50 Ом.

Кабель марки РК 50-2-42-С имеет однопроволочный медный посеребренный центральный проводник диаметром 0,966 мм. Изоляция кабеля вспененная, выполнена из ПТФЭ лент плотностью 0,7...0,9 г/см³, толщина изоляции равна 1,69 мм, сложна в производстве. Внешний проводник кабеля из медной посеребренной ленты, наложенной с перекрытием 30%, с оплёткой из посеребренных проволок (10х0,08 мм), плотностью 90% обеспечивает полное покрытие для эффективности против помех.

Кабель марки РК 50-3-211 изготовлен с медным луженым семипроволочным центральным проводником с расчетным диаметром 0,96 мм (скрутка левая, система скрутки 1+6, шаг скрутки 18,7 мм) и сплошной слой изоляции из фторопласта марки ФЭП 4МБ толщиной 1,15 мм, наложенный методом экструзии. На изоляцию наложен внешний проводник, материал — проволоки медные луженые плотностью 90%.

Ниже представлены результаты измерений затухания у кабелей обоих марок:

Марка кабеля	Коэффициент затухания, дБ/м, на частоте 1 ГГц	Затухание экранирования, дБ, в диапазоне частот 500÷3000 МГц
РК 50-2-42-С	0,69	≥90
РК 50-3-211	0,42	≥75

Из приведенных результатов видно, что кабель марки РК 50-2-42-С лучше сдерживает воздействие помех. У кабеля марки РК 50-3-211 меньшее собственное затухание, что указывает на более эффективную передачу сигнала. Результаты исследования использованы для улучшения кабельных конструкций. Благодаря эффективному экранированию удается уменьшить влияние помех на сигнал.

Литература

1. М.А. Боев, Г.И. Бадамшин Производство радиочастотных кабелей с изоляцией из лент вспененного фторопласта // 29-я конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», М.: МЭИ, 2023.

*М.А. Зотов, студ.; рук. А.Г. Корякин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»);
Н.Е. Молчанов, к.т.н., внешний консультант*

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ ПАРНОЙ СКРУТКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В работе приведен сравнительный анализ основных изоляционных материалов, применяемых в симметричных кабельных изделиях. Так приведены основные преимущества использования для симметричных кабелей полиэтиленовой изоляции в сплошном и вспененном исполнении. Такой полимер как полиэтилен, обладает хорошими диэлектрическими свойствами и способен работать в диапазоне температур от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для современных кабелей парной скрутки также применяются изоляционные материалы на основе кремнийорганической резины, позволяющие обеспечивать работоспособность кабеля в условиях воздействия пламени в течение 180 минут. Однако обеспечение долгосрочной работоспособности и выполнения заложенных функций кабеля в космическом пространстве невозможно с данными материалами. Космическая среда является агрессивной рабочей средой (воздействие низких рабочих температур и космической радиации) для кабельного изделия и материалов, входящих в конструкцию. По этой причине есть необходимость применять для симметричных кабелей другой вид изоляции.

В данной работе исследовано влияние высоких температур, радиационного излучения и электрических характеристик в процессе воздействия этих специальных факторов на опытные образцы кабеля с изоляцией из вспененного фторполимера марки Ф-4МБ. Произведены циклы испытаний на надежность таких изделий. Данные образцы выдержали все требования, предъявляемые к работоспособности в условиях воздушно-космического пространства, и соответствуют международному стандарту SpaceWire и российским стандартам ГОСТ Р 54429-2011 и ГОСТ Р 70020-2022.

Литература

1. **Кузнецов Р.Г.** Особенности разработки и производства кабелей для стандарта SpaceWire / Р.Г. Кузнецов, А.В. Лобанов, Н.Е. Молчанов // Кабели и провода. — 2021. — №. 2. — С. 15–18.
2. **Прокимов А.А.** Перспективные изоляционные материалы для радиочастотных кабелей и соединителей / А.А. Прокимов, К.Б. Джуринский, Ю.А. Смирнова // [Электронный ресурс] // spb.spetskabel.ru. URL: <https://spetskabel.ru/about/experts/articles/2017/410/> (дата обращения: 01.10.2023).

И.В. Бычков, студ.; рук. Д.А. Поляков, ст. пр. (ОмГТУ, Омск)

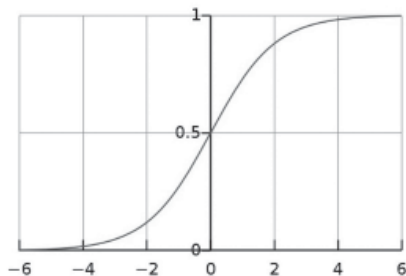
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

На сегодняшний день наиболее перспективным методом диагностики изоляции электрооборудования является метод частичных разрядов. Несмотря на эффективность этого метода, остаётся проблема, связанная с анализом амплитудно-фазовых диаграмм ЧР.

Этот недостаток вынуждает крупные компании обращаться к внешним организациям или отказаться от внедрения данного метода, теряя множество материальных ресурсов.

В моей работе поставлена задача изучить алгоритмы работы нейронных сетей для их последующего применения в прототипе программного обеспечения с использованием нейронных сетей.

В ходе работы изучены методы работы нейронных сетей и выбран метод обратного распространения ошибки — самый оптимальный алгоритм, подходящий под задачи анализа амплитудно-фазовых диаграмм частичных разрядов. Для активации нейрона будет использоваться сигмоидальная функция или сигмоида (sigmoid). Это монотонно возрастающая дифференцируемая S-образная нелинейная функция. Сигмоида позволяет усилить слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов.



Литература

1. **Tohid Shahsavarian, Yue Pan, Cheng Pan.** «A Review of Knowledge-Based Defect Identification via PRPD Patterns in High Voltage Apparatus» 2021.
2. **Гафаров Ф.М., Галимянов А.Ф.,** «Искусственные нейронные сети и приложения» 2018.

С.А. Ранаев, студ.; рук. Д.А. Поляков, ст. пр. (ОмГТУ, Омск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10кВ

Согласно стандарту международной электроэнергетической комиссии (МЭК 60270) частичный разряд — это локализованный электрический разряд, частично шунтирующий изоляцию между проводниками, который может возникнуть как в прилегающих, так и в не прилегающих к проводнику объемах изоляции.

В настоящее время основной задачей оценки технического состояния электрооборудования, кроме предотвращения аварий, является продление срока эксплуатации вплоть до выработки реального, заложенного в конструкцию при проектировании и изготовлении ресурса работы. Соответственно, возрастает роль методов диагностики электрооборудования в процессе эксплуатации.

Одним из самых эффективных методов диагностики в настоящее время в условиях эксплуатации является метод измерения частичных разрядов в кабельных линиях.

Целями работы являются дополнение базы экспериментальных данных о частичных разрядах и оценка опасных значений характеристик частичных разрядов.

В работе проведены экспериментальные исследования по регистрации частичных разрядов с использованием оборудования, имеющегося в лабораториях ОмГТУ. В частности, созданы искусственные дефекты изоляции для дополнения базы амплитудно-фазовых диаграмм и оценки опасных значений характеристик частичных разрядов. Дополнительно, в работе будут оцениваться опасные уровни мощности частичных разрядов, регистрируемые кажущиеся заряды частичных разрядов и другие характеристики, позволяющие оценить степень опасности дефекта.

В результате работы сформирована база результатов измерения частичных разрядов в силовых кабелях напряжением 10кВ, которая может быть заложена в новую систему диагностики электрооборудования для отслеживания текущего состояния и проведения предиктивного анализа изоляции оборудования.

Литература

1. **Tohid Shahsavarian, Yue Pan, Cheng Pan.** «A Review of Knowledge-Based Defect Identification via PRPD Patterns in High Voltage Apparatus» 2021.
2. **E. Gulski.** “Digital analysis of partial discharges,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol 2, no.5, pp. 822–837, 1995.

А.А. Филиппов, асс.;
рук. С.В. Серебрянников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ (ЭРЭП) НА ИЗОЛЯЦИЮ КАБЕЛЯ (ИК) ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЖАТИЯ

ЭРЭП высоковольтной кабельной арматуры (ВКА) устанавливается на ИК с натягом, создавая давление на контактной поверхности ЭРЭП и ИК. Контактное давление является важным параметром при конструировании ВКА, так как он влияет на электрическую прочность указанной контактной поверхности.

Коэффициент обжатия вычисляется по формуле (1):

$$k_o = \frac{d_{из} - d_{вн.эрэп}}{d_{из}} * 100\%, \quad (1)$$

где $d_{из}$ — диаметры по ИК, $d_{вн.эрэп}$ — внутренний диаметр ЭРЭП.

Известно, что минимальным коэффициентом обжатия (КО) принято значение 10–15% [1]. Исходя из уравнения (1) и минимального КО можно вычислить внутренний диаметр ЭРЭП:

$$d_{вн.эрэп} = (1 - k_o) \times d_{из}, \quad (2)$$

Проблема использования уравнения (2) при конструировании ЭРЭП состоит в том, что неизвестно, какое именно давление оказывает рассчитанный ЭРЭП на ИК при определённом КО. Для нахождения зависимости величины давления ЭРЭП на ИК было использовано численное моделирование в программном комплексе ELCUT. По полученным в результате моделирования данным была проведена аппроксимация. Зависимость контактного давления ЭРЭП на ИК описывается полиномом второго порядка:

$$p_a = 1,6335 \times k_o^2 + 0,4987 \times k_o + 0,0032, \quad (3)$$

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9989$. Для проверки применимости уравнения (3) с его помощью был проведён расчёт, результаты которого сравнивались со значениями, полученными при моделировании. Разница полученных значений составила около 15%, что соответствует точности для прикидочного расчёта.

Литература

1. Блеклов, Д.В., Николаева, М.А. Некоторые особенности расчёта конструкции отливок из кремнийорганических резин для концевых и соединительных муфт для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–220 кВ // Кабели и провода. — 2016. — № 3 (358). — С. 21–24.

В.Г. Ковальчук, студ.; рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СПИНОВАЯ ПРИРОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Несмотря на значительный прогресс в области сверхпроводимости, до сих пор отсутствует общепринятая теория, способная полностью объяснить все ее аспекты. Существующие модели сталкиваются с определёнными проблемами [1] и не способны полностью охватить разнообразие наблюдаемых свойств сверхпроводников.

Необходимость построения общей теории сверхпроводимости и определения зависимости сверхпроводящей щели от магнитного поля и ее физического смысла для всех классов сверхпроводящих материалов приводит к разработке новой модели, основные результаты которой рассматриваются в данной работе.

На основе модели Фейнмана [2] для сверхтонкого расщепления с заменой взаимодействующей пары электрон-протон разработана модель основного сверхпроводящего состояния системы, состоящей из двух частиц со спином 1/2. При рассмотрении общего случая, когда магнитные моменты частиц не равны, второе критическое магнитное поле, являющееся одной из ключевых характеристик поведения сверхпроводников во внешнем магнитном поле [3], выражается:

$$B_{c2} = A \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1 \mu_2} = \frac{\Delta (\mu_1 + \mu_2)}{4 \mu_1 \mu_2} = \frac{\Delta (m_1 + m_2)}{2 q \hbar} \quad (1)$$

Вторым важным аспектом является зависимость сверхпроводящей щели от магнитного поля и магнитных моментов частиц, из которых состоит куперовская пара:

$$\Delta(B) = E_1 - E_4 = 2A \left(1 + \sqrt{1 + \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2 B^2}{4A^2}} \right) - B(\mu_1 + \mu_2) \quad (2)$$

Понимание этой зависимости имеет важное значение для интерпретации экспериментальных данных и развития более точных моделей сверхпроводимости в различных условиях.

Литература

1. **Tinkham M.** Introduction to superconductivity [Текст] / Tinkham M. — 2nd ed. — in English: McGraw Hill, 1996 — 454 с.
2. **Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс** ФЕЙНМАНОВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс — 2-е изд. — Москва: МИР, 1978 — 530 с.
3. **Шмидт, В.В.** Физика сверхпроводников / В.В. Шмидт — 2-е изд. — Москва: МЦНМО, 2000 — 397 с.

Л.А. Лысенко, студ.; рук. Д.А. Поляков, ст. пр. (ОмГТУ, Омск)

ОБЗОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ

Силовые кабели широко применяются в электроэнергетике. Следовательно, их надежная работа является одной из наиболее важных задач эксплуатации. Одним из наиболее перспективных методов неразрушающего контроля изоляции силовых кабелей является измерение и анализ характеристик частичных разрядов. Амплитудно-фазовые диаграммы частичных разрядов (АФД ЧР) представляют собой важный инструмент для анализа электрических разрядов в изоляции силовых кабелей. Частичные разряды представляют потенциальную опасность для надежности кабелей, требуя внимательного анализа характеристик. Частичные разряды могут возникать в результате несовершенства изоляции или ее деградации, что может привести к повреждению кабеля и снижению его надежности.

АФД представляют собой графическое отображение амплитуды и фазы сигнала частичного разряда, который регистрируется с помощью специализированных датчиков. Анализ АФД позволяет определить наличие дефектов изоляции на основе зарегистрированных характеристики частичных разрядов и оценить состояние изоляции силового кабеля.

В работе проведен анализ существующих публикаций, научных статей и технических отчетов, посвященных частичным разрядам в силовых кабелях. Идентифицированы виды амплитудно-фазовых диаграмм частичных разрядов для различных типов дефектов, возникающих в силовых кабелях. Оценено воздействие различных параметров кабеля (геометрия, материалы) на характеристики частичных разрядов.

Исследование амплитудно-фазовых диаграмм частичных разрядов в силовых кабелях является актуальной темой с практической значимостью для обеспечения надежности электроэнергетических систем. Результаты данного обзора могут быть использованы в разработке эффективных методов диагностики и предотвращения частичных разрядов в силовых кабелях. Кроме того, использование результатов работы позволит повысить качество анализа и интерпретации результатов измерений частичных разрядов, что является одной из наиболее актуальных проблем при внедрении технологии измерения ЧР на предприятиях.

Литература

1. **Койков, С., Цикин, А.** Электрическое старение твердых диэлектриков. 1968 г.
2. **Кучинский, Г.** Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. 1979 г.
3. **Михель А.А., Авдонин А.В., Левин Д.М.** Обзор методов диагностики кабельных линий напряжений 6 и 10 кВ. 2009 г.

*Д.И. Пивовар, студ.; рук. А.Г. Корякин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»);
Н.Е. Молчанов, к.т.н., внешний консультант*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Симметричные кабели связи являются неотъемлемой частью современных систем передачи высокочастотных и сверхвысокочастотных сигналов. Они активно применяются в локальных компьютерных сетях, в цепях контроля и управления, в аппаратуре наземных и авиационных систем, ракетно-космической и морской технике, в структурированных кабельных системах (СКС), сетях широкополосного доступа (ШПД) и др.

Любой симметричный кабель при его эксплуатации представляет собой элемент, который подвержен влиянию окружающего электромагнитного поля, поэтому встает вопрос о электромагнитной совместимости (ЭМС), т.е. нормальной работы кабеля в условиях воздействия на него внешних электромагнитных полей, а также ослабление излучения от самого кабеля. Проблема ЭМС в симметричных кабелях связи решается несколькими методами: 1) Различный шаг скрутки у каждой рабочей пары в кабеле, что позволяет снизить влияние электромагнитного поля, создаваемого одной парой на другую; 2) Предпочтительным является дифференциальный режим работы, что обеспечивает минимальное искажение сигнала, в сравнении с синфазным режимом работы; 3) Использование индивидуального экрана для каждой пары и/или общего экрана.

На сегодняшний день экранирование является одним из важных факторов для защиты симметричного кабеля связи от внешних электромагнитных помех. В качестве экрана, который защищает передаваемые сигналы от внешних воздействий в таких кабелях, обычно применяется металлополимерная лента или металлическая оплетка, возможно использование как одного из вышеперечисленных элементов, так и в совокупности.

Основные параметры, которые характеризуют ЭМС и позволяют описать эффективность экранирования симметричных кабелей связи являются: 1) Сопротивление связи; 2) Затухание излучения; 3) Затухание экранирования; 4) Затухание асимметрии.

Настоящая работа посвящена исследованию и оценке эффективности экранирования путем измерения вышеперечисленных параметров методом «триаксиальной линии» на образцах симметричных кабелей связи категорий 5е, 6, 6А, 7, 7А и определения конструктивных исполнений экранов с целью достижения необходимого уровня экранирования в соответствии с российским стандартом ГОСТ Р 54429-2011.

Секция 23

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Electrotechnical and electromechanical systems and complexes

Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Румянцев Михаил Юрьевич

Секретарь секции: к.т.н. Соломин Александр Николаевич

В.К. Шестаков, асп.; рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МОЩНОСТЬЮ 500 КВТ ДЛЯ ПРИВОДА ВОЗДУШНОГО ВИНТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В настоящее время актуальной является задача увеличения топливной эффективности летательных аппаратов. Один из путей решения этой задачи связан с заменой маршевых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на электродвигатели (ЭД). Данный подход пока возможен в малой региональной авиации, где мощности турбовинтовых двигателей (ТВД) не превышает 2 МВт [1].

В докладе рассмотрены результаты расчетов и исследования ЭД мощностью 500 кВт, предназначенного для использования в приводе воздушного винта самолета. ЭД представляет собой электрическую машину синхронного типа с возбуждением от постоянных магнитов. Питание ЭД осуществляется от электронного преобразователя со звеном постоянного тока. Электроэнергия для питания всех систем самолета и ЭД производится электрогенератором, установленным на валу двигателя вспомогательной силовой установки.

Было проведено изучение влияния конструкции обмотки статора ЭД, сравнивались распределенные и концентрические обмотки. Проведено сравнение различных конструкций электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов: с магнитами, расположенными на поверхности ротора, с магнитами, расположенными внутри яра ротора, обращенная конструкция электрической машины. Для ЭД выбрана жидкостная система охлаждения машин, что позволило снизить массу ЭД.

В процессе исследований было проведено сравнение удельных мощностных характеристик различных конструкций ЭД; исследовано влияние форсы противо-ЭДС фазы ЭД на КПД. Рассчитаны и проанализированы механические характеристики ЭД.

Литература

1. **Электрический самолет: концепция и технологии** / А.В. Левин, С.М. Мусин, С.А. Харитонов, К.Л. Ковалев; под. ред. С.М. Мусин; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. — Уфа: УГТАУ, 2014, — 388 с.

*Е.А. Рябых, асп.; рук. Р.А. Малеев, к.т.н., доц.
(Московский Политехнический Университет, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СРЕДЕ ANSYS

Системы электроснабжения должны обеспечивать высокое качество электрической энергии и бесперебойное питание всех электрических потребителей, в том числе аккумуляторной батареи (АБ), при любых режимах работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и движения транспортного средства (ТС).

Генератор является основным источником тока, обеспечивающим питание потребителей на всех режимах работы двигателя, а также зарядку АБ [1]. Индукторные машины могут иметь различные магнитные системы. Для повышения мощности генератора и уменьшении его габаритов и массы в последние годы применяют анизотропные магниты, которые, как правило, встраиваются в пазах ротора [2].

Целью работы является оценка адекватности разработанной модели параметров реальных генераторов.

На первом этапе выполнено моделирование в программном комплексе Ansys магнитной цепи машины и проведен электромагнитный расчет. Проведена оценка магнитной проницаемости замкнутой магнитной системы и выявлен ряд недостатков в данной конструкции.

На втором этапе были получены расчетные электрические характеристики, которые предъявляются по техническим условиям к моделируемому генератору.

Для экспериментальной проверки адекватности смоделированного объекта в Ansys, представлена модель индукторного генератора с выпрямителем и горячем состоянии магнитов в точке 1800 мин⁻¹. Температура выбрана однородная для определенных тел.

В результате расчета определены следующие данные: выпрямленное напряжение — 13,27 В, ток — 13,25 А. Анализируя полученные данные можно сделать заключение, что модель является достоверной и все результаты соответствуют техническим условиям.

Литература

1. **Акимов С.В., Чижков Ю.П.** Электрооборудование автомобилей: учебник для вузов. — М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. — 384 с.
2. **Акимов С.В.** Расчет выходных характеристик автотракторных индукторных генераторов: учебное пособие по курсу «Проектирование автотракторного электрооборудования» для студентов специальности 0618/ Акимов С.В., Крылова Л.В. — М.: Московский Автомеханический Институт, 1987. — 55 с.

*В.Д. Кутков, Н.С. Акиншин, студенты;
рук-ли И.В. Станкевич, к.т.н., доц.,
Б.Р. Липай, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В последние годы отрасль беспилотных авиационных систем (БАС) активно развивается, причем основным направлением развития являются системы управления. Характер задач, которые современные БАС должны решать, таков, что вопросы автономности и точности

выходят на первый план. Под автономностью подразумевается степень участия оператора в выполнение полетного задания [1, 2]. Интеллектуальная система управления (ИСУ) решают эту задачу [1]. Основой ИСУ является набор “Direct-Learning”-моделей, обеспечивающих генерацию некоего набора действий исходя из набора состояний. В упрощенном представлении ИСУ работает следующим образом: данные из подсистем преобразуются в семантическом преобразователе через заранее сформированные словари (наборы правил семантического преобразования) в карточку состояния, после чего отправляются в систему принятия решений модели, которая, взаимодействуя с базой заранее записанных состояний, отдает карточку действия оптимальную для текущего состояния, которая интерпретируется и используется для управления БАС (рисунок 1). Прикладная реализации подобной ИСУ для электротехнического комплекса БАС упирается в количество бортовых систем/подсистем и количество информационных каналов, что ведет к увеличению необходимых вычислительных мощностей и ресурсов БЦВМ [1, 2]. Для малых БАС, чьи задачи строго определены, величина необходимых ресурсов не выходит за рамки, обеспечиваемые современными микрокомпьютерами [2]. Авторы данных тезисов ведут разработку подобной ИСУ на вышеуказанной аппаратной базе.



Рис. 1. Упрощенная схема работы ИСУ

Литература

1. **Васильев В.И., Ильясов Б.Г.** Интеллектуальные системы управления, Теории и практика. М.: Издательство «Радиотехника», 2008.
2. **Моисеев В.С., Моисеева Л.Т.** Методы предварительного проектирования беспилотных вертолетов, Казань, Редакционно-издательский центр «Школа», 2022.

А.С. Демкин, асп.;
рук. А.А. Базаров, д.т.н., проф. (СамГГУ, Самара)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНДА ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДИСКОВ ГТД

На данном этапе развития авиационной промышленности существует проблема определения срока службы дисков газотурбинных двигателей (ГТД). Проведение испытаний на реальных двигателях сопряжено с существенными затратами. Для этих целей применяются стенды, на которых проводятся термоциклические и разгонные испытания дисков.

Наиболее продуктивным видом нагрева для проведения термоциклических испытаний является индукционный нагрев (ИН). Это объясняется возможностью применения различного рода конфигураций индукторов, позволяющих добиться необходимого распределения температур по радиусу диска, соответствующего реальным эксплуатационным условиям [1]. Также ИН позволяет достичь высоких скоростей нагрева дисков, которые отражают условия реальной работы [2].

Несмотря на возможность создания систем с различными конфигурациями индукторов, нагрев испытуемых дисков всё равно является «дискретным» (наивысшие температуры концентрируются в непосредственной близости к индукторам), что приводит при моделировании процессов работы ГТД к прогрешностям. Также при проведении испытаний не уделяется внимание воздействию электродинамических усилий, обусловленных взаимодействием токов, индуцируемых в диске, и токов, протекающих в индукторе. Эти усилия воздействуют на привод, при помощи которого осуществляется управление скоростью диска.

Задачами, решаемыми в работе являются создание системы автоматического управления, позволяющей плавно регулировать изменение температуры диска, и построение математической модели электропривода, компенсирующего воздействие электродинамических усилий при проведении термоциклических и разгонных испытаний.

Литература

1. **Петропавлова К.О.** Моделирование системы для термоциклических испытаний дисков турбин / К.О. Петропавлова, О.Е. Павлова // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов, Москва, 15–16 марта 2018 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2018. — С. 471. — EDN YVZFQT.
2. **Лепешкин А.Р.** Разработка эффективных режимов скоростного индукционного нагрева изделий с учетом термических напряжений: автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.09.10 / Лепешкин Александр Роальдович; [Место защиты: Моск. энергет. ин-т]. — Москва, 2007. — 40 с.

А.С. Лискин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С МАССИВНЫМИ РОТОРАМИ

Электродвигатели с массивными роторами, в частности, гистерезисные электродвигатели, традиционно применяются в электроприводах. С одной стороны, в микроэлектроприводах устройств и систем ориентации, стабилизации, навигации, управления движением летательных аппаратов [1, 2], технологических машин по получению чистых и сверхчистых веществ, по выпуску химических волокон и нитей. С другой стороны, в высокомоментных электроприводах мобильных и стационарных объектов [3].

Массивный ротор — сплошной ферромагнитный цилиндр выполняет функции магнитопровода и токопровода. Вращающееся магнитное поле, создаваемое статором, проникает в массив ротора и индуцирует в нём вихревые токи, создающие при взаимодействии с магнитным полем дополнительный индукционный электромагнитный момент. При разработке электродвигателей с массивными роторами особенно важен учёт вихревых токов в магнитопроводах и сильно выраженного поверхностного эффекта.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, среди которых АО «НПЦ АП имени академика Н.А. Пилюгина», Дальневосточный федеральный университет, Всероссийский электротехнический институт — ВЭИ — филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», в котором выполняется рассматриваемая работа. Личный вклад автора:

- создание и апробация математической модели гистерезисного электродвигателя с массивными магнитопроводами статора и ротора;
- анализ и обобщение экспериментальных данных о вихревых токах в магнитопроводах из магнитно-мягких и магнитно-твёрдых материалов;
- создание и апробация математической модели гистерезисного электропривода с электродвигателями с массивными роторами.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций.

Литература

1. **Пешехонов В.Г.** Перспективы развития гироскопии // Гироскопия и навигация. Том 28. №2 (109), 2020 / (Статья по докладу на Европейской конференции по управлению (European Control Conference — ECC 2020)).
2. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н.А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.
3. **Космодамианский А.С. и др.** Электропривод вспомогательных агрегатов подвижного состава: монография. — Saarbrücken: LAMBERT, 2011.

М.М. Абасова, асп.;
рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ

Гибридные силовые установки для самолетов представляют собой инновационную технологию, объединяющую два или более типа энергетических источников, таких как традиционные газотурбинные двигатели и электрические аккумуляторы [1–2]. Эта технология обещает значительные преимущества в сравнении с традиционными силовыми установками, однако она также имеет свои ограничения и вызывает определенные вопросы, которые необходимо рассмотреть [3].

Новизна проведенных исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в числе которых Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова — ЦИАМ — входит в НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского, Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина (Новосибирск) и др. Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ силовых установок аналогов самолета согласно Части 23 АП: «Нормы летной годности гражданских легких самолетов»;
- анализ конструктивных вариантов гибридной силовой установки для гражданских легких самолетов;
- анализ и обобщение экспериментальных исследований рассматриваемого варианта силовой установки и ее основных элементов.

Будущее использование гибридных силовых установок определяется направлениями исследований специализированных организаций. С постоянным развитием технологий аккумуляторов и возможным использованием альтернативных источников энергии гибридные силовые установки могут стать более конкурентоспособными и эффективными. Кроме того, возможно широкое внедрение автономных летательных аппаратов, которые будут оснащены гибридными силовыми установками. Проводимые исследования включены в план научно-исследовательских работ базовой организации.

Литература

1. **Гусаков С.В.** Гибридные силовые установки на основе ДВС: учеб. пособие / С.В. Гусаков; Российский университет дружбы народов. — Москва: Изд-во ПНП «Образование», 2008. — 111 с.
2. **Дьяченко И.Г.** Теория двигателей внутреннего сгорания. Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2009. — 500 с.
3. **Раков В.А.** Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок: Диссертация и автореферат по ВАК РФ 05.22.107 / В.А. Раков; — Вологда, 2012.

*Э.Р. Фаррахов, студ.; В.В. Максимов, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ БУ 2500ЭУ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМЕНИ А. ЖАГРИНА

В данной исследовательской работе освещается тема модернизации системы управления буровой установкой БУ 2500ЭУ на месторождении имени А. Жагрин. Значимость системы управления в эффективной и безопасной эксплуатации буровых установок выделяется как ключевой аспект. Целью проведения модернизации является повышение производительности и автоматизация бурения, сокращение расходов на техническое обслуживание и ремонт, а также усовершенствование управления и мониторинга параметров бурения. В ходе исследования рассматриваются основные аспекты модернизации системы управления, включая как аппаратные, так и программные компоненты, интеграцию с существующими системами и применение передовых технологий [1]. Анализ технической составляющей установки выявил ряд недостатков, таких как использование санкционного программируемого логического контроллера Allen Bradley, неудачный подход к режимам работы в системе автоматического регулирования нагрузки на долото, а также недостатки в оптимизации процесса наращивания буровой колонны.

Предложенный комплекс модернизаций включает в себя ряд ключевых изменений, среди которых выделяются использование импортзамещенного и многофункционального программируемого логического контроллера Trei-5b-04 Standard. Также произведена оптимизация операций наращивания буровой колонны, а выбор оптимального и безаварийного режима работы буровой установки осуществляется путем изменения алгоритма пользовательской программы с использованием функции подхода к заданной точке. Эти изменения направлены на повышение эффективности и безопасности работы установки.

В заключение следует отметить, что предлагаемые методы модернизации системы управления буровой установкой БУ 2500ЭУ на месторождении имени А. Жагрин существенно повысят эффективность бурения, сократят операционные расходы и улучшат уровень безопасности на месторождении.

Литература

1. **Валиуллина, Д.М.** Внедрение цифровых решений / Д.М. Валиуллина, Д.М. Чиркова // Современные исследования в контексте трансформации и цифровизации: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 20 февраля 2023 года. — г. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. — С. 26–30. — EDN SDSROG.

Н. Абдугалиев, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Гистерезисные электродвигатели [1, 2] представляют собой один из видов электрических машин, которые помимо наиболее распространённого их применения в гироскопических системах, в системах автоматики и управления, в комплексах по получению чистых и сверхчистых веществ [2], могут использоваться в различных других технологических и промышленных приложениях [2, 3]. Новые перспективы и актуальные аспекты во многом связаны с исследованием и совершенствованием систем управления гистерезисными электродвигателями в составе электроприводов.

Для максимального использования потенциала гистерезисных электродвигателей с обеспечением предельно высокой энергоэффективности и энергосбережения необходимо развивать и оптимизировать системы управления ими. Поэтому важное направление исследований гистерезисных электродвигателей связано с управлением ими с импульсным намагничиванием ротора. Это позволяет улучшить рабочие характеристики таких электродвигателей и расширить их область применения.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в числе которых Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» — «НИИПМ им. академика В. И. Кузнецова», ФГУП «НИИСВ с экспериментальным заводом» (г. Тверь) и др. Личный вклад автора:

- анализ структурных схем и элементной базы систем амплитудного и импульсного управления гистерезисными электродвигателями;
- математическое моделирование и исследование систем импульсного управления гистерезисными электродвигателями в электроприводе;
- математическое моделирование и исследование базовых вариантов управляемого гистерезисного электропривода технологических систем.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований и практических разработок профильных организаций.

Литература

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Тарасов В.Н., Останин С.Ю.** Разработка научных основ и технических решений для автоматизации и роботизации роторных и центрифужных технологий // Доклады IX Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Санкт-Петербург, 2004 г.). С.-Пб. 2004. — 187 с. — С. 127–131.
3. **Л.И. Коротева, Е.Ю. Коротева.** Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. Учебное пособие. — М.: Инфра-М, 2015. — 288 с.

А.А. Антаненков, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ФОРСИРОВАННОМ ПУСКЕ И АМПЛИТУДНОМ УПРАВЛЕНИИ

Гистерезисный электропривод является основным типом электропривода механизмов с моментами инерции, превышающими на 2–4 порядка момент инерции ротора электродвигателя, требующих по условиям работы пуска при моментах сопротивления, близких к максимальному моменту. Такие условия характерны для различных отраслей техники и промышленности: от высокоточных роторных механических гироскопов, в основе которых принципы динамики вращающегося твёрдого тела [1], до механизмов машин химической и текстильной промышленности [2].

Для электродвигателей этих механизмов необходим режим форсированного, как правило, прямого пуска. Такой пуск обеспечивает преодоление момента инерции и момента сопротивления на валу, близкого к максимальному моменту. Данный режим также, при наличии на этапе разгона резонансных участков, обеспечивает увеличение динамики разгона и быстрого преодоления указанных участков. Этот режим обычно реализуется путём подачи повышенного напряжения электропитания на этапе разгона.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в числе которых АО «НПЦ АП им. академика Н.А. Пилюгина», Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» — «НИИПИМ им. академика В.И. Кузнецова», ФГУП «НИИСВ с экспериментальным заводом» (г. Тверь). Личный вклад автора состоит в следующем:

- математическое моделирование и исследование форсированного пуска гистерезисного электродвигателя в составе электропривода;
- математическое моделирование и исследование высших гармоник магнитного поля в гистерезисном двигателе при форсированном пуске;
- учёт особенностей преобразователя частоты и напряжения с трёхфазным инвертором при амплитудном и импульсном управлении.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований и практических разработок профильных организаций.

Литература

1. **Пешехонов В.Г.** Перспективы развития гироскопии // Гироскопия и навигация. Том 28. №2 (109), 2020 / (Статья по докладу на Европейской конференции по управлению (European Control Conference — ECC 2020)).
2. **Л.И. Коротева, Е.Ю. Коротева.** Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. Учебное пособие. — М.: Инфра-М, 2015. — 288 с.

Т.С. Латыпов, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ПРЯМОГО ПУСКА ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ И РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ ИМ

Гистерезисный электропривод, благодаря своим достоинствам [1], широко применяется в прецизионных технологических и производственных системах. К таким системам относятся устройства и комплексы управления и автономной навигации летательных аппаратов [1–3], в том числе высокоточные роторные механические гироскопы, в основе которых находятся принципы динамики вращающегося твёрдого тела [2], технологические линии по получению чистых и сверхчистых веществ, машины и агрегаты по производству химических волокон, нитей и тканей.

Для большинства электродвигателей в составе электропривода таких систем объективно необходим прямой пуск, режим электрического синхронного вала, возможность гарантированно возвращаться в синхронный режим, например, после сбоев по напряжению электропитания.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, АО «НПЦ АП им. академика Н.А. Пилюгина», Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» — «НИИПМ им. академика В.И. Кузнецова», ФГУП «НИИСВ с экспериментальным заводом» (г. Тверь). Личный вклад автора состоит в следующем:

- математическое описание и моделирование режима прямого пуска гистерезисного электродвигателя с учётом магнитного состояния ротора;
- математическое описание и моделирование асинхронного режима гистерезисного электропривода с учётом особенностей прямого пуска;
- моделирование преобразователя частоты и напряжения с инвертором, обеспечивающим электропитание и управление электродвигателем.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций и межотраслевым переносом электромеханических технологий с созданием продукции двойного назначения. В соответствие с этим гистерезисные электроприводы эффективно применяются в атомной, химической, текстильной и смежных отраслях.

Литература

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Пешехонов В.Г.** Перспективы развития гироскопии // Гироскопия и навигация. Том 28. №2 (109), 2020 / (Статья по докладу на Европейской конференции по управлению (European Control Conference — ECC 2020)).
3. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н. А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.

*С. Дондовсамбуу, студ.;
рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЁТНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА

Системы отопления с обогревающими жидкостями, перекачиваемыми циркуляционными насосами с «мокрым» ротором, широко применяются в России и за рубежом. Для насосов обычно используются асинхронные электродвигатели. Широко известны и применяются указанные насосы и системы на их основе компании Grundfos (Грундфос) (Дания) [1]. Оборудование фирмы Grundfos высококачественное, но дорогостоящее. Аналогичное оборудование производится также в Китае и других странах.

Для рассматриваемых насосов и систем важно оптимальное соотношение качества рабочих показателей, технологии изготовления и стоимости электропривода и его основных элементов: электродвигателя, инвертора, системы управления. Большое значение имеет возможность создания конструктивно-унифицированных рядов электродвигателей с разными значениями электромагнитного момента, масштабирования инверторов для электроприводов с такими электродвигателями [1–3].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих компаний, в частности, Grundfos. Личный вклад автора:

- обзор литературных источников по регулируемым электроприводам широкого применения, системам и комплексам на их основе;
- анализ состояния разработок, методов и средств моделирования, расчёта и проектирования, а также состояния практического применения регулируемых электроприводов и электродвигателей для них;
- расчёт, исследование и проектирование электродвигателя для базового варианта реализации электропривода рассматриваемых систем;
- выбор структуры и расчётный анализ электронного преобразователя с инвертором для электропривода рассматриваемого назначения.

Перспективы использования результатов обусловлены работами ведущих российских и зарубежных компаний, в частности, Grundfos, в области электрооборудования для систем отопления, горячего водоснабжения, охлаждения и кондиционирования воздуха, подготовкой серийного производства на промышленно-технологической базе предприятий Монголии.

Литература

1. Циркуляционные насосы с «мокрым» ротором // Grundfosliterature / Grundfos (Грундфос) (Дания). 2021. 84 с.
2. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. Т. 1, 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 1170 с.
3. **Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А.** Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. М.: Высшая школа. 2002.

И.А. Федоров, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОМОМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время актуально создание высокомоментных электродвигателей для электроприводов различных мобильных и стационарных, в том числе автономных, объектов. В частности, такие электродвигатели необходимы для тяговых и вспомогательных электроприводов объектов электрического наземного, водного и других видов транспорта [1–3]. Важными этапами при проектировании этих электродвигателей и электроприводов являются их математическое моделирование и исследование [4].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в числе которых Всероссийский электротехнический институт — ВЭИ — филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», в котором выполняется работа, рассматриваемая в докладе, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток) и др. Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ структурных схем и элементов электроприводов объектов электрического наземного, водного и других видов транспорта;
- анализ конструкционных вариантов высокомоментных электродвигателей для электроприводов рассматриваемых объектов;
- математическое моделирование и электромагнитные расчёты выбранных вариантов электропривода и его основных элементов;
- анализ и обобщение экспериментальных исследований прототипов рассматриваемых вариантов электропривода и его основных элементов.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций и межотраслевым переносом электромеханических технологий с созданием продукции двойного назначения. Проводимые исследования включены в план научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ базовой организации.

Литература

1. **М. Кондо и др.** Герметизированный синхронный тяговый двигатель с постоянными магнитами для пригородных электропоездов // Железные дороги мира. 2006, № 10. С. 28–34.
2. **Космодамианский А.С. и др.** Электропривод вспомогательных агрегатов подвижного состава: монография. — Saarbrücken: LAMBERT, 2011.
3. **Антоненко С.В.** Судовые движители: учеб. пособие / С.В. Антоненко; Дальневосточный государственный технический университет. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. — 126 с.
4. **Гайкович А.И.** Основы теории проектирования сложных технических систем. — СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ». 2001. — 423 с.

*К.О. Степанов, И.А. Жуков, студенты;
рук. И.А. Тихомирова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ СО ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМОЙ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ ИЗЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В современной логистике на складах всё чаще применяются автономные мобильные роботы (АМР) для автоматизации складских помещений и производственного процесса. В большинстве современных АМР используются системы навигации, которые представляют собой ориентирование на RFID-метки (Radio Frequency Identification), а также подразумевающие применение лидара.

Однако вышеперечисленные методы ограничены специально оборудованными помещениями.

Для снижения требований к помещениям и точного определения направления движения робота, предложено использовать модули в количестве от 4 до 8 штук, каждый из которых будет состоять из антенн, выступающих в роли источника электромагнитного излучения, а также контроллеров, реагирующих на его изменения. Для создания карты помещений, информацию об изменениях электромагнитного излучения, собранную роботом, можно преобразовать с помощью SLAM-метода (Simultaneous Localization and Mapping), что позволит упростить навигацию в последующем использовании АМР. Кроме того, в поисках способа передвижения, было принято решение, в нижней части корпуса, сделанного из деревянной фанеры, закрепить гироскутер.

Таким образом был разработан автономный мобильный робот, который может самостоятельно передвигаться в любых помещениях с помощью системы навигации, которая представляет собой ориентирование на электромагнитные поля, излучаемые модулями, установленными на АМР.

Литература

1. **The simultaneous localization and mapping (SLAM)** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://openslam-org.github.io>.
2. **Э.Ф. Хамадулин** Основы радиоэлектроники: методы и средства измерений 2-е изд. / Э.Ф. Хамадулин // Юрайт — Москва, 2023 — с 166–188, с. 199–215.

А.Е. Храмов, асп.; Н.М. Петухов, А.А. Чугров, студенты;
рук. В.В. Соколов, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)

РАЗРАБОТКА ОДНОФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С АКТИВНЫМ КОРРЕКТОРОМ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

В настоящее время при разработке промышленного оборудования особое внимание уделяется вопросу качества потребления электроэнергии. Как правило, питание данного класса устройств производится через сетевой выпрямитель от звена постоянного тока. Из-за наличия ёмкостной составляющей, спектр потребляемого преобразователем тока содержит сильно выраженные высшие гармоники.

Перспективным методом для исключения последних является активная коррекция, которая заключается в установке на выходе неуправляемого выпрямителя корректора коэффициента мощности (ККМ) [1, с. 82–89]. Задача ККМ — обеспечить как можно более синусоидальное потребление тока из сети [2, с. 76]. Ряд зарубежных компаний (*Texas Instruments*, *Onsemi*) освоили серийный выпуск контроллеров и печатных плат с ККМ. К сожалению, в Российской Федерации работа в этом направлении носит научно-исследовательский характер. Ввиду этого, актуальным является разработка устройства активной коррекции.

В докладе приводятся результаты имитационного исследования однофазного ККМ в среде аналого-цифрового моделирования *MicroCap*. Анализ полученных в ходе моделирования осциллограмм доказывает корректность разрабатываемого схемотехнического решения, а также возможность практической реализации данного устройства.

Система управления и регулирования разрабатываемого ККМ реализована на базе микроконтроллера *STM32F429ZIT6*. Приведена программная реализация блока оцифровки сигналов, а также цифрового пропорционально-интегрального регулятора тока. Выполнена оптимизация контуров регулирования и определены параметры регуляторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (тема № *FSWE-2022-0006*).

Литература

1. **Ваняев В.В.** Силовая электроника : учеб. пособие для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / В.В. Ваняев. — Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. — 107 с.
2. **Анучин А.С.** Системы управления электроприводов : уч. для вузов / А.С. Анучин. — М. : Изд. дом МЭИ, 2015. — 373 с.

*Е.О. Тюряхин, Сор Су Мэй О, студенты;
рук. Мье Мин Тант, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕГУЛИРУЕМОЕ ТРАНСФОРМАТОРНО- ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО — ТВУ-*N* С КОРРЕКТОРОМ ВХОДНОГО КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Одним из способов совершенствование трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ- $m_{1\Omega}$) является повышение их входного коэффициента мощности:

$$X = \cos\varphi_{1(1)} / \sqrt{K_{r(i)}^2 + 1},$$

где $\varphi_{1(1)}$ — угол сдвига по фазе между основными гармониками фазных напряжения и тока генерирующей сети, $K_{r(i)}$ — коэффициент гармоник потребляемого тока; $m_{1\Omega}$ — число, отражающее не только пульсность выпрямленного напряжения, но одновременно и число каналов (N) преобразования 3-х фазного напряжения сети в постоянное напряжение: $N = m_{1\Omega} / 6$. Чем ближе значение X к 1, тем более эффективно ТВУ- $m_{1\Omega}$. Традиционные решения ТВУ- $m_{1\Omega}$ обычно содержат 3-х фазный трансформатор с первичной и N числом вторичных обмоток (с разной топологией), а также N число 3-х фазных выпрямительных мостов (ТВМ), соединяемых по их выходу последовательно или параллельно. Изложены результаты исследований ТВУ- N с новым принципом формирования выпрямленного напряжения [1], пульсность у которого определяется не только числом каналов N , но и другими параметрами: индуктивностью рассеяния обмоток трансформатора, тактовой частотой f_T и скважностью S переключения управляемых ключевых элементов (УКЭ), число которых здесь равно числу N , а также ёмкостью накопительного конденсатора на выходе ТВМ. Топология ТВУ- N во многом сходна с топологией ТВУ- $m_{1\Omega}$, но во многом от неё и отличается. В качестве средства исследования нового решения использовано имитационное компьютерное моделирование (ИКМ) в среде *OrCAD*. Показано, что увеличение преобразуемой мощности и одновременно улучшение коэффициента X достигается увеличением числа каналов N . При малых значениях числа каналов N на входе ТВУ- N устанавливается 3-х фазный Γ образный LC фильтр. Приводятся результаты ИКМ: осциллограммы рабочих процессов, а также регулировочные и внешние характеристики. Даны рекомендации по проектированию. Традиционная область применения ТВУ- $m_{1\Omega}$ распространяется и на новый класс ТВУ- N , которые, наряду с повышением значения X , одновременно позволяют осуществить и регулирование выходного напряжения, например, с целью его стабилизации.

Литература

1. **Патент RU 2 802 419, H02 7/48.** Регулируемое трансформаторно-выпрямительное устройство / Авторы: Г.С. Мызык, Мье Мин Тант, К.А. Воронцов. Оpubл. 28.08.2023, Бюл. № 25.

В.А. Васин, студ.; Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ВЕНТИЛЬНЫЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

Синхронный вентильный генератор с возбуждением от постоянных магнитов, называемый также как вентильный магнитоэлектрический генератор (ВМЭГ) характеризуется, во-первых, бесконтактностью, а, во-вторых, наибольшей удельной мощностью (размерность [кВт/кВА]), и поэтому он является наиболее перспективным классом электрической машины. Существенным его (ВМЭГ) недостатком является необходимость соответствующей его доработки с целью придания ему свойства стабилизации выходного напряжения при возмущающих воздействиях по частоте вращения приводного вала и по току нагрузки. Сегодня известно уже несколько способов решения этой задачи. Целью настоящей поисковой работы является исследование возможности построения нового варианта — бесконтактного двухмашинного исполнения ВМЭГ (В2МЭГ), выполненного в виде двух синхронных генераторов (СГ) — вспомогательного СГ (ВСГ) обращённой конструкции с магнитоэлектрическим возбуждением (МЭВ) и основного СГ (ОСГ) с электромагнитным возбуждением (ЭМВ) [1]. ВСГ и ОСГ расположены в общем корпусе, а их роторы — на общем валу. Индуктор ВСГ расположен на статоре, а его якорная обмотка (ЯО) ВСГ — на роторе; обмотка возбуждения (ОВ) ОСГ расположена на роторе, а его ЯО — на статоре и подключена ко входу основного неуправляемого трёхфазного выпрямительного моста (ТМВ). ЯОВСГ подключена ко входу расположенного на роторе вспомогательного не управляемого выпрямителя (НУВ), один из выходных выводов которого через управляемый ключевой элемент (УКЭ) подключён к одному концу ОВОСГ, а второй выходной его (НУВ) вывод — ко второму её концу. Импульсы управления УКЭ формируются в блоке управления (БУ1), расположенного на статоре ОСГ, и передаются оптическим путём на управляющий вход УКЭ, также расположенного на роторе. Приводятся блок-схемы построения БУ1 и БУ2, который обеспечивает усиление и гальваническую развязку сигналов управления от БУ1. Приводятся преимущества данной конструкции относительно известных альтернативных решений, и формулируются дальнейшие задачи, подлежащие решению.

Литература

1. Заявка №2023126041 от 11.10.2023 на изобретение «Бесконтактный стабилизированный по напряжению синхронный генератор» // Автор: Г.С. Мыцык.

*В.А. Краснов, студ.; Е Яинт Мьят, студ.;
Г.С. Мыцык д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МАШИННО-ЭЛЕКТРОННАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ

На подвижных объектах (ПО) различных классов источником механической энергии является их тяговый двигатель, частота вращения вала которого меняется в зависимости от режима работы ПО с кратностью до $2÷2,5$. При этом для электропитания электрооборудования (ЭО) ПО требуется стабилизированное с заданной точностью 3-х фазное напряжение, например, 115/200 В с частотой 400 Гц. Одним из вариантов решения указанной проблемы электропитания может быть машинно-электронная генерирующая система 2-го типа — МЭГС-2 [1] (в отличие от МЭГС-1, которая обеспечивает на своём выходе напряжение постоянного, а не переменного тока). Исследуемая структура МЭГС-2 представляет собой три последовательно включенных силовых блока: электрический генератор (ЭГ), выпрямительный блок (ВБ) с ёмкостным фильтром на выходе и трёхфазный инвертор напряжения (ТИН) с выходным фильтром (ВФ). С учётом требований авиационного применения и с позиции системного проектирования приводятся результаты поиска лучшего решения: даётся сопоставительная оценка нескольких вариантов МЭГС-2, различающихся между собой различными вариантами бесконтактного исполнения ЭГ (с электромагнитным — ЭМВ и магнитоэлектрическим — МЭВ возбуждением), ВБ (без корректора и с корректором входного коэффициента мощности — КВКМ), ТИН (на базе трёх полумостовых инверторных схем и на базе мостовых инверторных схем). Для улучшения массогабаритных показателей ВФ в качестве алгоритмов формирования выходного напряжения ТИН используется широтно-импульсная модуляция ШИМ (ДШИМ или ОШИМ) по синусоидальному закону. С этой же целью стабилизация выходного напряжения МЭГС-2 производится или в ЭМ (при её ЭМВ), или в ВБ (при ЭМ с МЭВ). Поисковое исследование проведено на основе имитационного компьютерного моделирования в среде *OrCAD*. Представленные результаты получены при общепринятых на первых этапах исследований допущениях.

Литература

1. **Патент на изобретение RU №2 806 899.** Машинно-электронная генерирующая система со стабилизацией напряжения и частоты/ Авторы: Г.С. Мыцык, Мье Мин Тант. Опубл. 08.11.23 в БИ № 32.

*К.А. Ширшин, М.К. Ешаев, студенты;
рук. Д.А. Алешин (НГТУ, Нижний Новгород)*

БАЛАНСИРОВКА АКБ ОТНОСИТЕЛЬНО СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЯЧЕЕК

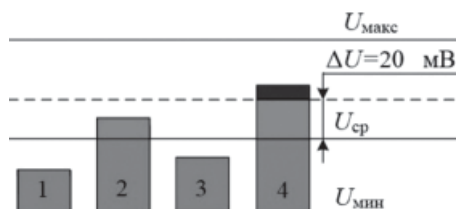


Рис. 1. Балансировка АКБ по среднему значению ячеек

Вольт, а емкость редко превышает пары десятков ампер-часов. По этой причине формирование аккумуляторных батарей с высоким напряжением и/или большой емкости требует последовательного и параллельного соединения гальванических элементов.

Современные технологии позволяют создавать ГЭ с максимально близкими характеристиками, но отклонения параметров элементов неизбежны по различным причинам. Отклонения в свою очередь приводят к переразряду или перезаряду некоторых ячеек аккумуляторной батареи, что снижает ресурс АКБ и сокращает ее эффективную емкость.

В связи с этим предлагается способ балансировки аккумуляторных батарей. Алгоритм работы следующий: измеряется напряжение на каждой ячейке батареи, а затем находится среднее значение относительно всех ячеек АКБ. При превышении напряжения любого из ГЭ на 20 мВ относительно среднего уровня, энергия с данного элемента сбрасывается через балластный резистор.

Предложенный алгоритм работы балансировки значительно снижает время на ввод АКБ в эксплуатацию в сравнении с традиционным способом, в котором балансировка происходит при достижении ячейкой заданного уровня.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (тема №FSWE-2022-0006).

Литература

1. **Варламов Р.Г.** Современные источники питания: Справочник. М. ДМК, 1998. 192 с.

*А.А. Безберда, студ.;
рук. А.Л. Гончаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШЕК ОТКЛОНЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ

Электронная пушка — устройство, предназначенное для генерации и формирования пучка электронов, обладающего определенной конфигурацией с заданной кинетической энергией и значением тока. Отклоняющая система является составной частью электронной пушки. Она отвечает за перемещение электронного пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Задачей работы является описание алгоритма измерения значения индуктивности катушек отклоняющей системы электронных пушек, с помощью которого возможно получить корректные результаты эксперимента. При постоянных условиях среды, а соответственно и магнитной проницаемости материалов, из которых изготовлены катушка и сердечник, индуктивность зависит только от геометрических размеров контура.

При проведении измерений с помощью измерителя иммитанса (RLC-метра) получились недостоверные результаты: индуктивность изменялась с увеличением частоты подаваемого синусоидального напряжения, однако это противоречит свойствам индуктивности, так как условия среды и магнитная проницаемость постоянны.

При попытке рассчитать индуктивность через соотношения для переходных процессов в RL-цепи также возникают проблемы: на осциллограмме нельзя четко увидеть переходный процесс, так как время его протекания настолько велико, что он не успевает закончиться до момента подачи нового импульса напряжения от генератора.

Исходя из соотношения для времени протекания переходного процесса:

$$t_{пп} = 4\tau = 4L/R$$

где τ — постоянная времени переходного процесса, L — индуктивность катушки, R — сопротивление катушки, видно, что время протекания переходного процесса уменьшается при увеличении сопротивления. При последовательном подключении к исследуемой катушке резистора с большим сопротивлением удается получить достоверные результаты измерений индуктивности с помощью RLC-метра: получаемые значения перестают меняться при изменении частоты подаваемого синусоидального напряжения. Измеренное значение индуктивности — 5,8 мГн. При подключении получившейся RL-цепи к осциллографу четко виден переходный процесс, соответственно возможно вычислить индуктивность из формулы (1). В результате расчетов получилось значение 5,75 мГн.

Д.Н. Белкова, асп.;
рук. В.Н. Аносов, д.т.н., проф. (НГТУ, Новосибирск)

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА СУБГАРМОНИК ТОКА

В работе [1] рассматривается один из проблемных вопросов эксплуатации объектов распределенной генерации — повышенная виброактивность газотурбинной установки автономной электроэнергетической системы из-за субсинхронного резонанса.

Концепция активного фильтра субгармоник тока (АФСТ) для подавления нежелательных низкочастотных колебаний тока и напряжения в сети основана на применении последовательного активного силового фильтра, выполняющего функцию вольтодобавочного регулятора, что позволяет выдавать активную и реактивную мощности для сглаживания пульсаций напряжения и тока. Была разработана модель АФСТ для проверки алгоритмов извлечения гармоник, синхронизации и регуляторов (Рис. 1). Результат подключения АФСТ представлен на Рис. 2.

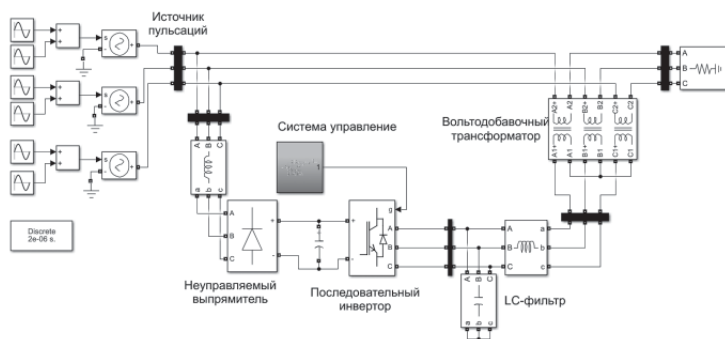


Рис. 1. Модель АФСТ в MATLAB Simulink

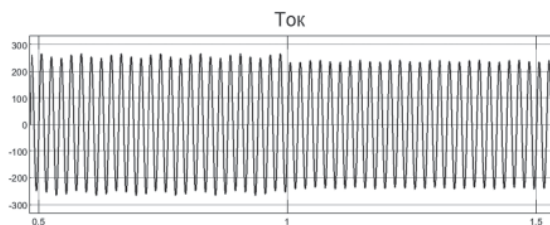


Рис. 2. Ток нагрузки ($t = 1$ с — время подключения вольтодобавки)

Литература

1. Diana Belkova, Vladimir Anosov, and Vladimir Kaveshnikov, “Application of the Maximum Principle for Optimizing an Active Current Subharmonic Filter,” 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, 15–19 May 2023, DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139148.

Секция 24

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Electrical and electronic apparatuses

Председатель секции: к.т.н., доцент Киселев Михаил Геннадьевич

Секретарь секции: Конюшенко Елизавета Владимировна

С.А. Шаров, асп.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНСТРУКТИВНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ РЕШЁТКИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ТОКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

На сегодняшний день всё более востребованными становятся системы с частотой тока от 500 Гц до 10 кГц. Это могут быть системы индукционного нагрева, навигации, телефония и др. В соответствии с этим становится актуальным вопрос о коммутации и аварийном отключении токов таких систем.

В цепях переменного тока высокой частоты при вхождении дуги в дугогасительную камеру большое влияние на траекторию движения дуги оказывают наведённые в пластинах решётки вихревые токи. Наличие вихревых токов коренным образом меняет конфигурацию поля [1].

При высокой частоте появляется сила, препятствующая вхождению дуги в решётку. Эта сила обусловлена индуцированными вихревыми токами и растёт с увеличением частоты и амплитуды тока дуги [2].

В работе предлагается модификация конструкции пластин решётки и проводится сравнительный анализ двух конструктивных исполнений пластин решётки.

Модификация заключается в значительном увеличении периметра пластины без увеличения габаритных размеров. Увеличение периметра достигается путём создания пазов по контуру пластины, что позволит увеличить длину пути протекания тока. С увеличением длины пути протекания увеличивается и сопротивление, которое необходимо преодолеть току. При большем сопротивлении достигается меньшая амплитуда индуцированных токов и в соответствии с этим меньшая величина силы, препятствующей вхождению дуги в решётку.

В качестве метода расчёта используется программное обеспечение COMSOL Multiphysics, в котором задаётся геометрическая форма пластин и необходимые условия для построения и решения систем дифференциальных уравнений.

Литература

1. **Буткевич Г.В.** «Дуговые процессы при коммутации электрических цепей». М., «Энергия», 1973 г., 264 с.
2. **О.Б. Брон** «Электрическая дуга в аппаратах управления», Государственное энергетическое издательство, 1954 г., 532 с.

И.П. Шорсткин, асп.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАТКОМ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В электроэнергетике интенсивно развиваются технологии по использованию возобновляемых источников энергии. Одним из таких направлений является ветроэнергетика. В ветроэнергетике для автономных систем мощностью от 10 до 100 кВт может эффективно использоваться асинхронный генератор (АГ) с короткозамкнутым ротором.

Этот тип генератора обладает следующими преимуществами: надежность, дешевизна, способность вырабатывать энергию при переменной скорости вращения ротора. Не смотря на перечисленные преимущества в работе АГ имеются и существенные недостатки, не позволяющие использовать его в качестве автономного источника энергии. Первый недостаток связан с необходимостью в источнике реактивной мощности для возбуждения и дальнейшего регулирования величины напряжения АГ. Второй недостаток связан с зависимостью частоты выходного напряжения от активной мощности.

С развитием полупроводниковой техники появилось большое количество схемотехнических решений, позволяющих решить перечисленные проблемы [1]. Одним из таких решений является использование статического синхронного компенсатора реактивной мощности (СТАТКОМ) совместно с регулятором постоянного тока. Такое решение позволяет одновременно регулировать активную и реактивную мощность АГ.

Целью работы является разработка системы управления СТАТКОМ для стабилизации напряжения АГ. Система управления была реализована на основе DQ теории и содержит следующие блоки:

- 1) Блок синхронизации;
- 2) Блок регулирования амплитуды напряжения АГ;
- 3) Блок регулирования частоты напряжения АГ.

Разработана модель АГ и СТАТКОМ с системой управления. Получены результаты расчета модели при различных величинах активной и реактивной нагрузки асинхронного генератора.

Литература

1. **B. Singh and G.K. Kasal**, "Analysis and Design of Voltage and Frequency Controllers for Isolated Asynchronous Generators in Constant Power Applications," 2006 International Conference on Power Electronic, Drives and Energy Systems, New Delhi, India, 2006, pp. 1-7.

*Н.С. Родькин, асп.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц., зав. каф.;
К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ВИЭ

Одним из ключевых направлений энергетической стратегии РФ на долгосрочную перспективу является организация надежного энергообеспечения удаленных объектов и территорий, не подключенных к единой энергосети (Восточная Сибирь, Крайний Север и др.). Для решения этой проблемы необходимо построение эффективной распределенной энергетики, использующей различные местные в том числе и возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Выполняемые исследования посвящены вопросам создания универсальных гибридных электроэнергетических комплексов для задач распределенной энергетики, использующих в своем составе различные альтернативные энергоисточники.

Исследуемая комплектация гибридного электроэнергетического комплекса (ГЭК) включала: фотоэлектрический генератор (ФЭГ), ветроэнергоустановку (ВЭУ), дизель-генераторную установку (ДГУ), аккумуляторную батарею (АБ), а также преобразователи постоянного тока — ППТ (в качестве регуляторов первичных источников энергии) и инвертор на выходе системы.

Проведившиеся исследования были направлены на создание компьютерной модели для гибридного энергетического комплекса и решение ключевых научно-технических вопросов, которые обеспечат стабильную совместную работу возобновляемых источников энергии комплексной системы электроснабжения, таких как фотоэлектрические панели (ФЭП) и ветрогенераторы, и совместную работу с ДГУ и АБ. Были проведены эксперименты с основными элементами гибридной энергосистемы, ее режимами работы и алгоритмами управления, направленные на оценку устойчивости. [1].

В ходе работы была разработана топология системы с индивидуальными преобразователями для каждого источника энергии. Создана компьютерная модель для отработки взаимодействия элементов системы и режимов ее работы. Показана возможность суммирования мощностей ФЭГ и ВЭУ для обеспечения требуемой нагрузки и зарядки аккумулятора. Эффективность предложенных методов подтверждена исследованиями совместной работы источников энергии.

Литература

1. **Barnam S.** “A review of algorithms for control and optimization for energy management of hybrid renewable energy systems.” *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 10. 053502. 2018.

В.Н. Круглов, асп.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

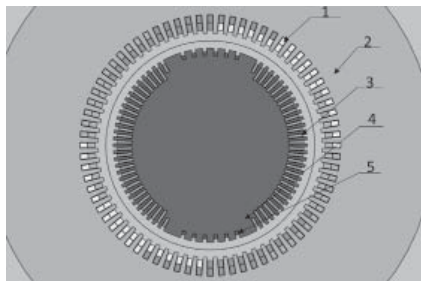


Рис. 1. 2D модель электромашиного компенсатора

Компенсаторы реактивной мощности применяются в электрических сетях для ликвидации дефицита реактивной мощности и регулирования напряжения в сети.

Модель асинхронизированного компенсатора (рис. 1) состоит из обмоток статора — 1, сердечника статора — 2, катушки возбуждения — 3, ротора — 4 и катушки управления — 5. Главное отличие асинхронизированного от синхронного компенсатора заключается в наличии катушки управления у первого.

Построение математической модели происходит в несколько этапов:

1. Предварительный расчет — он включает в себя построение предварительной модели;
2. Определение основных размеров — с помощью предварительной модели определить основные размеры компенсатора;
3. Построение модели — по полученным размерам строится модель компенсатора;
4. Расчет основных характеристик — получение основных характеристик компенсатора.

В данной работе приводится определение параметров, разработка модели и определение основных параметров асинхронизированного компенсатора. А также делается сравнение эффективности асинхронизированного и синхронного компенсатора при равных геометрических размерах.

Литература

1. **Y. Shakaryan, P. Sokur, N. Pinchuk.** “Experience in the creation and application of asynchronous generators and compensators in the Russian Federation” in Proc 12th Int. Conf. on WETC — Electrical engineering, 2012.

Е.С. Суранова, асп.;
рук. М.В. Рябчицкий, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Низковольтные комплектные устройства (НКУ) широко используются как на объектах жилого, так и промышленного назначения. НКУ представляют собой целый комплекс устройств, предназначенных для распределения электроэнергии, измерений, сигнализации, защиты и управления исполнительными механизмами.

В связи с требованием обеспечить передачу электроэнергии, качество и параметры которой должны соответствовать ГОСТ 32144-2013, согласно категории надежности потребителя, предоставляются несколько стратегий для достижения данного требования.

Большая часть обслуживающих компаний предпочитает устранять последствия непредвиденных отказов НКУ в рамках требований к перерыву электропитания, однако данный подход приводит к простоям или поломке оборудования, находящегося внутри НКУ и подключенного к нему.

Для повышения надежности и отказоустойчивости НКУ необходимо внедрять системы мониторинга [1] (СМ). Основу СМ составляют интеллектуальные устройства, способные измерять параметры электрической сети и прочие характеристики, например, температуру и сопротивление изоляции кабелей [2], а также передавать их в систему хранения данных. На основании полученных результатов при использовании определенных алгоритмов обработки и интерпретации данных предоставляется возможность не только отслеживать нынешнее состояние оборудования в СМ реального времени, но и прогнозировать и выявлять предварийные режимы работы НКУ и развивающиеся дефекты оборудования в прогнозирующих СМ.

В данной работе проводится сравнительный анализ существующих решений в рамках мониторинга НКУ: прогнозирующей (предиктивной) системы мониторинга и системы мониторинга в реальном времени.

Литература

1. **R. Fechet, A. Graur, M. Prelipceanu, D. Vicoveanu.** “Simulated test environment for low voltage and medium voltage distribution cell monitoring systems” in Proc. 16th Int. Conf. on Development and application systems, 2022.
2. **A.Y. Kallel, D. Haddad, T. Keutel, O. Kanoun.** “Real-time monitoring of cables based on network interface controllers for predictive maintenance” in Proc. of IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 71, 2022.

Г.К. Соловов, асп.;

рук. М.Г. Киселев, зав. каф., К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ФАПЧ ДЛЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОМ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

Точная и быстрая оценка амплитуды, частоты и фазы линейного генератора (ЛГ) является важной частью алгоритма управления силовым полупроводниковым регулятором и называется фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Частота и амплитуда выходного напряжения ЛГ волновой энергоустановке изменяются на одном периоде хода буйки. Линейный генератор имеет большое значение индуктивности обмотки, поэтому алгоритм ФАПЧ необходим на основе сигналов электродвижущей силы (ЭДС) ЛГ (E_{ABC}). Все это необходимо учитывать при разработке системы управления силовым регулятором.

Алгоритм ФАПЧ силового регулятора основан на алгоритме [1], в котором используется метод синхронной системы отсчета с фазовой автоподстройкой. Сигналы E_{ABC} вычисляются на основе сигналов токов ЛГ I_{ABC} , значениях R и L обмоток ЛГ, напряжения на стороне постоянного тока регулятора U_{DC} и состояниях ключей преобразователя силового регулятора $S_{1,3;5}$. Блок-схема алгоритма управления представлена на рис. 1.

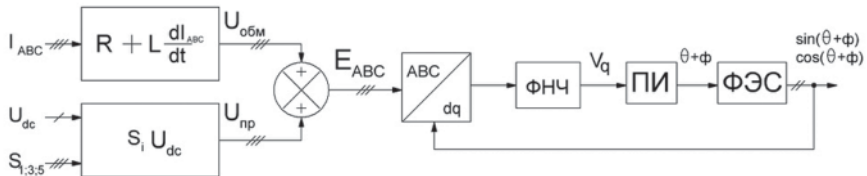


Рис. 1. Структура фазовой автоподстройки частоты для бездатчикового управления.

($U_{обм}$ — вычисленное напряжение на обмотке; $U_{пр}$ — вычисленное напряжение преобразователя; блок ФНЧ — фильтр низких частот; блок ФЭС — формирователь эталонных сигналов, $\theta+\phi$ — фазовая и угловая частота ЭДС; блок ABC/dq — блок прямого преобразования в синхронные координаты; ПИ — пропорционально-интегральный регулятор)

В ходе работы была разработана модель основных узлов силового регулятора и упрощенный алгоритм управления ФАПЧ. Данный метод позволяет достаточно быстро и точно вычислить эталонные сигналы для использования их в алгоритме управления силовым регулятором.

Литература

1. B. Pan, Z. Dai, G. Li, M. Ciobotaru. "An Accurate Linearized model of Synchronous Reference Frame Phase-Locked Loop" in Proc. of IEEE Int. Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2021.

И.В. Кириллов, асп.; рук. П.А. Дергачёв, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРВИЧНОЕ АПРОБИРОВАНИЕ ПРИНЦИПА МАГНЕТОФОРМИРОВАНИЯ В АППАРАТАХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Существует множество способов гашения электрической дуги отключения низкого напряжения. Среди них гашение электрической дуги посредством деионной решётки, ферромагнитной скобы, двойного разрыва, лабиринтных камер, щелевых камер и магнитного дутья [1, 2]. Последний способ дугогашения наиболее близок к принципу магнетоформирования. Физические явления в обоих способах дугогашения идентичны. В обоих случаях магнитное поле электрической дуги взаимодействует с внешним магнитным полем. В основе принципа магнетоформирования заложен принцип суперпозиции напряжённостей магнитного поля постоянных магнитов. Иными словами, принцип взаимодействия магнитного поля электрической дуги отключения и неоднородного постоянного магнитного поля. Концепция такого взаимодействия была изложена в предыдущем докладе автора [3].

Были произведены первичные испытания макета контактора, работающего по принципу магнетоформирования.

В ходе первичной апробации принципа магнетоформирования при постоянном токе в 150 А и напряжении 130 В выяснилось, что существует необходимость в доработке контактной и дугогасительной систем аппарата. А именно в применении ферромагнитных «щёчек», ламельных контактов и дугогасящих «рогов». Перечисленные меры позволяют обеспечить корректную работу опытного макета.

Литература

1. **Верстунин, А.Ю.** Дугогасительная система с ферромагнитной скобой в контакторах постоянного и переменного тока // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов, Москва, 15–16 марта 2018 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2018. — С. 419.
2. **Л.А. Родштейн,** Электрические аппараты 1989 Л: Энергоатамиздат, 1989.
3. **Кириллов И.В.** Анализ динамики заряженных частиц низкотемпературной плазмы в постоянном магнитном поле // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 16–18 марта 2023 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023. — С. 411.

Р.Г. Апальков, асп.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОГО РЕГУЛЯТОРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В системах управления полупроводниковыми преобразователями с обратной связью часто используют ПИД-регуляторы, для которых необходим расчет коэффициентов или их подбор. Предлагается реализовать автоматический расчет нахождения коэффициентов на основе нечеткой логики, как одной из разновидностей нейронных сетей [1].

Комбинирование системы нечеткой логики и ПИД-регулятора называется гибридной нечеткой системой автоматического управления (САУ). Задача нечеткой логики — рассчитывать коэффициент усиления каждой составляющей ПИД-регулятора для достижения нулевой ошибки на его входе.

Гибридная САУ способно адаптироваться при изменениях параметров объекта управления и при внешних возмущениях в отличие от обычного ПИД-регулятора, в котором коэффициенты постоянны.

Применение гибридной нечеткой САУ позволяет изменять коэффициенты регулятора в течение всего рабочего времени и подстраиваться под внешнее воздействие.

Разработана модель регулятора с гибридной САУ для полупроводникового компенсатора реактивной мощности и для функции поддержания напряжения на конденсаторе регулятора. В алгоритмах используется векторное преобразование для управления активной и реактивной мощностью в преобразователе (рис. 1). Управление активной мощностью используется для поддержания напряжения на силовом накопительном конденсаторе в системе регулятора.

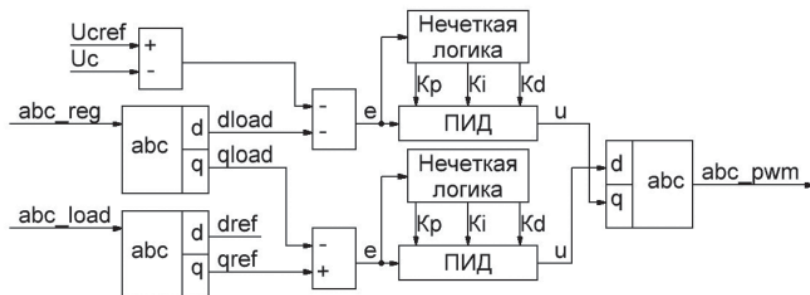


Рис. 1. Система управления ПИД-регулятора с нечеткой логикой

Литература

1. **М. Mehri.** “A comparison of neural network models, fuzzy logic, and multiple linear regression for prediction of hatchability” // Poultry science. — 2013. — Т. 92. — №. 4. — С. 1138–1142.

О.И. Калашникова, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ

Анализ энергопотребления является одним из наиболее важных инструментов для оптимизации энергетических процессов. Он позволяет выявлять потенциальные утечки и снижать затраты на электроэнергию, что особенно актуально в условиях повышения тарифов и стремительного развития технологий, требующих все большего количества энергии и энергоресурсов.

Одним из ключевых элементов анализа энергопотребления является предиктивное прогнозирование режимов нагрузки сети, которое позволяет предвидеть возможные перегрузки и предотвращать аварийные ситуации на различных уровнях энергосистемы [1]. Это особенно важно в условиях роста числа электроприборов и устройств, которые используются в настоящее время, а также в связи с увеличением количества альтернативных источников энергии, таких как солнечные батареи и ветряные турбины.

Мониторинг параметров электросети необходим для обеспечения безопасности и стабильности работы энергосистемы. Это позволяет оперативно выявлять возможные проблемы и решать их до того, как они приведут к серьезным последствиям, таким как отключение электричества или повреждение оборудования.

Цель работы заключается в разработке устройства для измерения параметров электроэнергии и алгоритмов для дальнейшего анализа собранной информации, с целью прогнозирования энергопотребления.

По результатам первой части работы разработано устройство для измерения параметров напряжения сети и тока нагрузки и возможность передачи данных в облачное хранилище для дальнейшей обработки и визуализации.

В дальнейшем планируется разработать алгоритмы анализа полученной информации и модифицировать: изменить компоновку элементов для более удобного использования и возможности установки внутри низковольтного комплектного устройства, реализовать длительное хранение полученной информации, расширить перечень снимаемых параметров.

Литература

1. **Кычкин А.В., Горшков О.В.** Интеграция предиктивных моделей в состав платформ Интернета вещей для реализации сценариев управления энергопотреблением в режиме на сутки вперед // Датчики и системы. — 2020. — №. 11. — С. 19–29.

А.Е. Чичков, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЯМИ В СЕТЯХ

Одной из главных проблем электроснабжения потребителей является искажения качества сети за счет неактивных нагрузок потребителей, поэтому для исключения искажения сети необходимо устройство, повышающее качества электроэнергии.

Для повышения качества сети был реализован четырехквадрантный регулятор с преобразователем на основе многоуровневого инвертора. Для генерации активной мощности в сеть и компенсации реактивной было реализовано питание преобразователя на основе источников возобновляемой энергии.

Была выбрана, рассчитана и промоделирована наиболее эффективная схема преобразователя на базе H-мостового многоуровневого инвертора (13 уровней) [1]. Исходя из того, что напряжение питания на каждой ячейки преобразователя небольшое (25 В), то в качестве источника питания преобразователя эффективно использовать фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) совместно с аккумуляторными батареями (АБ). В работе рассмотрены различные типы АБ и выбраны литий-титановые АБ, которые для получения 25 В были соединены последовательно (10 шт.), при этом каждый аккумулятор подключается к устройству балансировки уровня заряда. Также для получения максимального коэффициента полезного действия от ФЭП было реализовано устройство поиска точки максимальной мощности. Рассматриваемая система преобразователя представлена на рисунке 1.

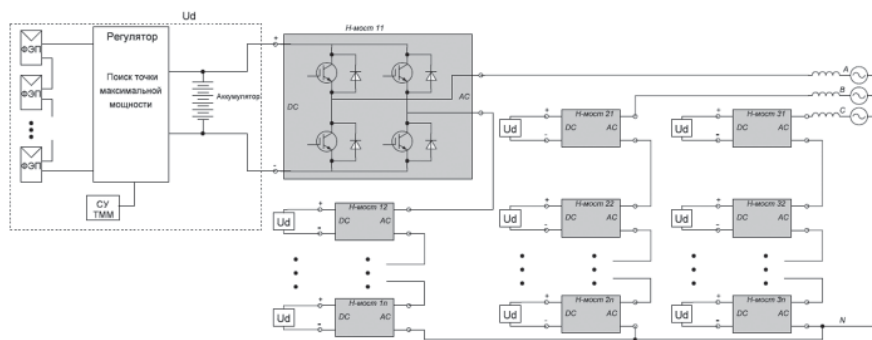


Рис. 1. Система регулирования мощности

Результаты расчета разработанных имитационных подсистем рассматриваемой модели, показали преимущества и перспективы использования данной системы в качестве преобразователя сетевого регулятора.

Литература

1. М.А. Таранов, П.Т. Корчагин, П.В. Гуляев. Анализ работы H-мостового каскадного инвертора. УДК 621.314.26.

А.В. Ходина, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПО ВНЕШНЕМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Электрические машины в процессе работы создают внешнее электромагнитное поле, проведя его анализ, можно получить информацию о состоянии электрической машины. В современном мире проводится множество исследований данного вопроса и для оценки состояния электрической машины применяются различные методы.

Для решения данной задачи можно применять методы, которые основываются на анализе внешнего электромагнитного поля, создаваемого электрической машиной в процессе работы. Например, существуют методы на основе анализа несимметрий внешнего электромагнитного поля [1]. В последнее время все чаще используют методы машинного обучения для решения различных задач, в том числе и для определения состояния электрической машины [2].

В работе будет разработана и обучена нейронная сеть (НС) на основе расчетных данных электромагнитного поля для разных режимов работы электрической машины.

Процесс обучения: на вход НС подаются параметры режима работы, такие как напряжение, ток возбуждения, активная и реактивная мощности, и подаются расчетные данные зависимости распределения электромагнитного поля. На выходе НС получается график распределения электромагнитного поля, который сравнивается с расчетными данными электромагнитного поля исправной машины для соответствующего режима. Таким образом НС обучается.

В конечном итоге обученную НС можно использовать для оценки состояния работающей машины. Для этого на ее вход подаются измеренные параметры режима и распределение электромагнитного поля, а на выходе будет выдаваться график электромагнитного поля, при анализе которого можно получить информацию об исправности электрической машины.

Литература

1. **А.Н. Морозов, Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, С.А. Нестеров.** “Идентификация о внешнему магнитному полю внутренних электромагнитных дефектов неявнополюсных синхронных генераторов”, 2022.
2. **Э.М. Баширова, Н.К. Попов, А.Ю. Овчинникова.** “Применение искусственных нейронных сетей в задачах диагностики электродвигателей”, 2020.

К.К. Воронцов, асп.;
рук. М.В. Рябчицкий, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В области электроэнергетики большое внимание уделяется снижению потребления электрической энергии за счёт минимизации её потерь. Отмеченная проблематика активно изучается в условиях современного научно-технического прогресса и имеет много направлений, одним из которых является компенсация реактивной мощности (далее — КРМ).

Главная цель — это увеличение коэффициента мощности за счёт балансирования активной мощности, потребляемой приёмниками [1]. В настоящее время существуют разные методики определения характеристик КРМ, начиная от номинальных параметров КРМ и заканчивая типом самих компенсаторов и способами регулирования.

Установка и параметры КРМ закладываются в процессе проектирования и основываются на величине средневзвешенных значений. Откуда следует, что учёт часовых, суточных, месячных, а иногда и сезонных колебаний электрических параметров не осуществляется на этапе проектирования. В связи с этим, возможным способом оптимизации системы может стать мониторинг режимов работы. Предлагаемая система позволит в режиме реального времени проводить анализ текущих параметров, оценивать возможность включения или отключения необходимого числа имеющихся компенсаторов, формировать предложения по оптимизации системы КРМ, в том числе по модернизации имеющегося оборудования или установке дополнительного.

В настоящее время данная область исследований является очень актуальной. Для внедрения рассматриваемой системы требуются соответствующие испытания, которые могут выделить систему мониторинга как новый комплексный подход к обеспечению высоких показателей качества электрической энергии, снижению потерь, повышению надёжности и безопасности.

Литература

1. **А.Ю. Иванов, Г.Я. Михальченко, С.Г. Михальченко [и др.]** Энергосберегающие технологии компенсации реактивной мощности и мощности искажений // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 317, № 4. — С. 94–100.

Л.Е. Еграшкин, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ШКАФАХ АВТОМАТИКИ

При проектировании шкафов автоматики важно обеспечить нормальные условия для эксплуатации оборудования в течение длительного времени. Негативные факторы влияния окружающей среды, такие как повышенная или пониженная температура, влажность могут существенно снизить эффективность работы электрооборудования, уменьшить его срок службы и даже стать причиной аварийной ситуации.

Все электрические и электронные компоненты имеют свой рабочий диапазон температур и допустимый уровень относительной влажности, при превышении которых возникает риск выхода из строя всего оборудования. Для предотвращения возможных аварийных ситуаций, необходимо производить предварительный расчет по климатическим показателям [1].

Данная работа посвящена изучению влияния различных климатических факторов на электрооборудование [2], обзору различных видов систем охлаждения и обогрева, а также средств их контроля, которые представлены на сегодняшний день и выпускаются разными компаниями [3].

Практическая часть работы будет посвящена созданию трехмерной тепловой модели реального шкафа управления двигателями с учетом аэродинамики в программном обеспечении Comsol Multiphysics. Моделирование будет проводиться для различных случаев конфигурации системы охлаждения. На основании полученных результатов теплового состояния внутри шкафа будут сделаны выводы об эффективности системы воздушного охлаждения шкафа с учетом расположения вентиляторов.

Литература

1. **IEC/TR 60890** «Метод проверки повышения температуры комплектных низковольтных устройств», 2022 — 57 с.
2. **Занегин И.Н.** Идеальный микроклимат для вашего оборудования. системы контроля микроклимата Rittal-качество, инновации, энергоэффективность // Век качества. — 2010. — №. 5. — С. 62–63.
3. **Назарычев А.Н. и др.** Исследование влияния температуры окружающей среды на расход ресурса электрооборудования // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2009. — №. 3. — С. 57–60.

В.В. Борькин, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Вакуумные дугогасительные камеры являются определяющим комплектующим компонентом конструкции вакуумных выключателей, работа которых основана на гашении электрической дуги, возникающей при размыкании контактов в вакууме.

В межконтактном промежутке вакуумной дугогасительной камеры в зависимости от тока и принятых конструктивных особенностей дугогасительного устройства, дуга может поддерживаться в диффузной, т.е. плазма столба диффузной дуги заполняет весь промежуток между контактами, или сжатой форме, близкой к форме дуги в сжатых газах. Граничный ток, при котором дуга переходит из одной формы в другую, во многом зависит от конструкции, размеров межконтактного промежутка, материала контактов, а также от тока отключения. Предельная величина номинального тока отключения, при которой нет повторного зажигания дуги после нуля тока, определяется в первую очередь температурой поверхности контактов.

Для уменьшения температуры нагрева анода и снижения давление выделенного пара с поверхности контактов в межконтактном промежутке, а также для увеличения величины отключаемого тока, необходимо осуществить быстрое движение сжатой дуги или обеспечить удержание дуги равномерно распределённой по поверхности контакта. Это достигается за счет применения поперечного и продольного магнитного поля соответственно [1–2].

В работе проводится моделирование в программном обеспечении COMSOL Multiphysics вакуумных дугогасительных камер с применением аксиального магнитного поля в различных режимах работы. Моделирование проводится с целью выяснить, какие конструкции на данный момент являются наиболее эффективными, а также с целью найти оптимальные решения, среди имеющихся, и оптимизировать их.

Литература

1. **Zhiyuan Liu, Jianhua Wang, Yingsan Geng, Zhenxing Wang.** “Swithing arc phenomena in transmission voltage level vacuum circuit breakers” / Zhiyuan Liu, Jianhua Wang, Yingsan Geng, Zhenxing Wang. — NY : Springer Singapore, , 2021. — 421 с.
2. **Sapronova, T.M., U'yanov, K.N.** “Mathematical Model of the Diffusion Model of a Short, High-Current Vacuum Arc in the Axial Magnetic Field” / Sapronova, T.M., U'yanov, K.N. — NY : Springer, 2021. — 772 с.

Е.Ю. Шелягин, студ.; П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ РОТОРА НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРА

Одним из самых серьезных индикаторов отказов узлов синхронных машин являются вибрации, которые сильно влияют на надежность работы машины. Из-за воздействия повышенной вибрации в узлах электрической машины могут произойти следующие негативные последствия: ослабление прессовки активной стали, нарушение плотности соединений, разрушение сварных швов и деталей из-за усталости материала и контактной коррозии, снижение газоплотности, ускоренный износ изоляции, нарушение герметичности в системах водо- и маслоснабжения, повышенные потери и нагрев подшипников, расстройство работы, износ контактных колец и щеточного аппарата и т.п. [1].

В гидроагрегатах наиболее уязвимы от вибрационных воздействий: нижний генераторный подшипник верхнего бьефа, верхний генераторный подшипник, вал гидротурбины, вал гидрогенератора и крышка гидротурбины [2]. Наиболее опасным по последствиям отказов является ротор (вал) гидрогенератора. Отказы ротора происходят достаточно редко, но приводят к серьезным авариям. Главной причиной его вибраций являются неуравновешенные силовые воздействия вследствие смещения центра масс или эксцентриситета оси ротора.

На этапе проектирования гидрогенератора необходимо выделить основные параметры для оценки уровня вибраций проектируемого ротора. Для этого проводят расчеты на критические скорости (частоты) вращения и формы колебания ротора. Для обеспечения надежности данного узла необходимо добиться, чтобы его рабочая и угонная частоты вращения не достигали критических частот. Наиболее удобным способом расчета данных параметров ротора является его моделирование в программном обеспечении COMSOL Multiphysics при помощи модуля «Rotor Dynamics».

В результате работы будет представлена модель вала гидрогенератора с консолями на двух-шести податливых опорах с результатами основных вибрационных параметров.

Литература

1. **Гольдберг О.Д.** Надежность электрических машин: учебник для студ., высш. учеб. Заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. — М.: Издательский центр «Академия». 2010. — 288 с.
2. **Чупейкина, Н.Н.** “Виды отказов синхронных машин, их признаки, причины и методы устранения” / Н.Н. Чупейкина, Э.О. Удодова // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № S10. — С. 284–329.

*И.Г. Ковалев, А.С. Сусликов, студенты;
рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

КОНТРОЛЬ МАГНИТОМЯГКИХ И МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Качество различных электротехнических устройств часто определяется магнитными свойствами магнитных материалов, применяемых для их изготовления. В качестве таких материалов применяются магнитомягкие и магнитотвердые материалы (постоянные магниты). На сегодняшний день разработка новых устройств тесно связана с применением современного программного обеспечения для расчета электромагнитных полей. Для получения достоверных данных в процессе моделирования необходимо знать магнитные характеристики материалов, входящих в состав изделия. И если для материалов, которые часто и широко применяются, свойства можно найти в стандартах или библиотеках к программному обеспечению, то для вновь создаваемых и исследуемых материалов и систем необходимо получить эти данные в процессе испытаний.

При контроле постоянных магнитов и некоторых магнитных систем в сборе можно использовать несколько методов: определение магнитного момента в кольцах Гельмгольца, определение потока с полюса постоянного магнита, измерение значений магнитной индукции в характерных точках вблизи магнита или системы. Эти методы позволяют осуществить неразрушающий контроль и дают интегральные характеристики изделия. Получение кривых намагничивания возможно на образцах стандартной формы с использованием гистерезисграфов.

Измерение характеристик магнитомягких материалов проводятся на образцах кольцевой формы, цилиндрах и прутках. В зависимости от используемого средства измерения, необходимо подготовить образец требуемой формы и размеров. Образец намагничивается во внешнем изменяющемся магнитном поле, одновременно фиксируются значения тока намагничивающей обмотки и магнитного потока измерительной обмотки. Полученные данные пересчитываются в кривую намагничивания исследуемого материала.

В работе изучены перечисленные магнитные методы контроля материалов и проведены практические исследования. Полученные результаты использованы для моделирования движения ферромагнитных частиц в макете трубопровода.

А.А. Слюсарь, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИЛОВОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВОЛНОВОГО ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

Все больше людей задумываются о проблемах окружающей среды, вызванных деятельностью топливно-энергетического комплекса [1]. Одним из направлений решения проблем является использование альтернативных источников энергии, таких как волновая энергия морей и океанов. Различные типы генераторов, применяемых в системах прямого привода, имеют одну общую характеристику — их внутренняя индуктивность очень высока. Это приводит к уменьшению максимального выходного тока генератора. Большой ток приводит к уменьшению выходного напряжения генератора. Кроме того, амплитуда и частота выходного напряжения меняется в широком диапазоне, поэтому для получения выходного напряжения для использования энергии требуется силовое электронное устройство (СЭУ).

Применение СЭУ позволяют повысить эффективность передачи электрической энергии от генератора к нагрузке, а также обеспечить потребление тока со сниженными гармоническими искажениями, что позволяет увеличить долговечность и повысить надежность генератора. На рисунке 1 приведена схема подключения линейного генератора к СЭУ. Разработана модель линейного генератора и СЭУ для функции передачи максимальной активной мощности с обеспечением синусоидального тока.

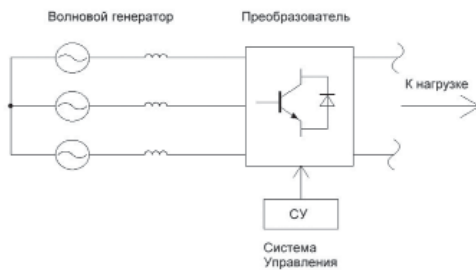


Рис. 1. Схема с преобразователем

Литература

1. Y. Rozanov, K. Kryukov, M. Kiselev, M. Lepanov, Y. Tserkovsky, E.a Namestnikova, «Power Conditioning Unit for Direct-Drive Wave Energy Converter», 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 2018, DOI: 10.1109/EPEPEMC.2018.8521966.

В.А. Агеев, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ВЫХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В современных системах электроснабжения ухудшение качества электрической энергии вследствие гармонических искажений тока и напряжения является распространенной проблемой. Это связано с наличием большого количества нелинейных нагрузок, потребляющих из сети несинусоидальный ток. Наиболее эффективным методом борьбы с гармоническими искажениями являются устройства активной фильтрации гармоник, принцип работы которых основан на формировании различных гармоник посредством силового электронного преобразователя (инвертора). Активный фильтр (АФ) подключается параллельно к сети и создает гармоники тока в противофазе с гармоническими составляющими, потребляемыми нагрузкой, в результате происходит полная компенсация гармоник тока в сети [1].

Характеристики АФ зависят от алгоритма и метода управления транзисторным преобразователем, но важное значение имеет выбор конфигурации и параметров выходного пассивного фильтра преобразователя. Для управления транзисторным преобразователем используются методы высокочастотной модуляции: широтно-импульсная (ШИМ) и релейная (гистерезисная). За счет регулирования выходного напряжения инвертора обеспечивается ослабление высокочастотных модуляционных гармоник. Основными вариантами конфигурации фильтров являются L - и LCL -структура. Величина индуктивности фильтра определяется расчетным значением тока АФ и условием минимального содержания модуляционных гармонических составляющих. При наличии конденсатора качество формируемого тока улучшается вследствие изменения частотных характеристик пассивного фильтра, что позволяет определить оптимальные параметры управления.

Для подробного анализа устройства и исследования влияния параметров управления и силовой части АФ на его характеристики было выполнено компьютерное моделирование. Получены зависимости потерь в преобразователе и качества тока от индуктивности и емкости выходного фильтра, частоты ШИМ и точности гистерезисного регулирования.

Литература

1. **Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк.** Силовая электроника: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007 г.

Н.А. Бобков, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТАКТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

В современной электротехнике и промышленной сфере контакторы постоянного тока являются одними из наиболее востребованных устройств. Контактторы постоянного тока являются электромеханическими устройствами, предназначенными для контроля электрических цепей. Они широко используются в различных отраслях промышленности и являются важными компонентами механических и электрических систем.

Контактор постоянного тока имеет много настроек, которые могут влиять на его работу. Работа контактора оценивается двумя зависимостями: суммарной характеристикой противодействующих усилий и тяговой характеристикой электромагнитного привода [1]. Обязательное условие для работы контактора состоит в том, чтобы тяговая характеристика была выше характеристики противодействующих усилий, иначе контактор будет работать неправильно [2].

Целью данной работы является создание имитационной модели контактора постоянного тока, позволяющей оценить его работу в различных условиях и производственных процессах.

Практическая часть работы посвящена созданию трехмерных моделей контакторов постоянного тока. Спроектированы электрическая, магнитная и механическая подсистемы для задания нужных параметров. Создана модель контактора постоянного тока, которая может провести моделирование контактора любой геометрии и изменять параметры тока, количество витков и напряжения. На основании полученных результатов смогли создать эффективную имитационную модель, которая позволяет достаточно точно предсказывать работу контактора и определять его основные параметры.

Литература

1. **Под ред. П.А. Курбатова.** — 5е изд., перераб. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 592 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) / Основы теории электрических аппаратов.
2. **П.А. Курбатов.** Электрические и электронные аппараты. Москва «Юрайт», 2017 г. 440 стр.

М.С. Алферов, асп.;
рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Ни для кого уже давно не секрет, что синхронизированным отключением выключателя можно добиться снижения времени горения дуги в разы, а энергии, выделяемой в межконтактном промежутке в десятки раз [1]. Для наиболее эффективного синхронизированного отключения выключателя помимо наличия быстродействующего привода, необходимо ещё весьма точно и с достаточным упреждением определить момент перехода тока через нуль.

Процесс короткого замыкания в генераторном токопроводе сопровождается возникновением токов в сотни килоампер с огромной апериодической составляющей тока из-за чего любой трансформатор тока, имеющий в своей конструкции ферромагнитный сердечник, неизбежно уйдёт в насыщение [2]. Таким образом, применительно к управлению генераторными выключателями можно использовать только датчики тока, не имеющие в своём составе ферромагнитного сердечника, склонного к намагничиванию. К таким датчикам тока можно отнести пояс Роговского — это тороидальная катушка без магнитопровода [3]. Вторым способом измерения токов короткого замыкания в генераторном токопроводе являются оптико-электронные трансформаторы тока [4].

Данная работа посвящена исследованию точности определения нуля тока в генераторном токопроводе при различных методах измерения тока.

Полученные результаты исследования показывают, какими методами предпочтительно производить измерение тока короткого замыкания в генераторном токопроводе и какие при этом возникают технические сложности.

Литература

1. **Буткевич Г.В., Клепарская Л.Г., Набатов В.Ф.** Синхронизированное отключение цепей переменного тока высокого напряжения // *Электричество*. 1969. № 8 с. 6–13.
2. **Адоньев Н.М., Афанасьев В.В., Локш А.И.** Генераторные выключатели и аппаратные комплексы высокого напряжения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.
3. **Глухов О.А., Глухов Д.О.** Расчёт параметров индукционного датчика тока на базе катушки Роговского // *Проблемы энергетики*. 2015. № 3. с. 124–131.
4. **Губин В.П., Старостин Н.И., Пржиялковский Я.В., Моршнев С.К., Сазонов А.И., Отрохов С.Ю.** Волоконно-оптические трансформаторы электрического тока: физические основы и технические реализации. Часть 1 // *Фотоника*. 2018. Т. 12. № 7 (75). С. 704–715.

*Е.В. Конюшенко, асп.; Д.П. Белецкий, студ.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР СО ВСТРОЕННЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ МОМЕНТА

Повышение удельного момента электрических машин является актуальной проблемой для целого ряда силовых низкоскоростных электро-механических систем [1]. Одна из таких систем — ветроэнергетическая установка, в которой решение обозначенной проблемы позволит отказаться от использования механической передачи. В данном исследовании предлагается решить эту задачу при помощи внедрения бесконтактного магнитного трансформатора момента в магнитную систему генератора.

Синхронный генератор со встроенным трансформатором момента является машиной прямого привода, совмещенной с магнитным мультипликатором (рис. 1). Наличие магнитного зацепления обладает более высокой надёжностью, меньшим шумом и встроенной защитой от перегрузки в отличие от электрических машин с механическим мультипликатором [2].

Расчет синхронного генератора и его оптимизация производится в программном обеспечении Comsol Multiphysics, основанном на методе конечных элементов. В процессе исследования была рассчитана динамическая модель электрического генератора и произведено моделирование номинального режима работы и режима короткого замыкания. А также произведены параметрический расчёт зависимости удельных характеристик от толщины постоянных магнитов и исследование размагничивающего действия обмотки на постоянные магниты в номинальном режиме работы. В результате исследования получена конструкция электрической машины, которая рассчитана на мощность 100 кВт.

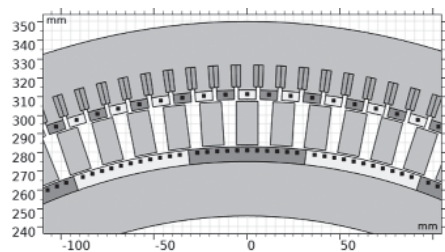


Рис. 1. Синхронный генератор со встроенным трансформатором момента

Литература

1. **R. Qu, Y. Liu and J. Wang**, “Review of Superconducting Generator Topologies for Direct-Drive Wind Turbines,” in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 23, no. 3, pp. 5201108–5201108, June 2013, Art no. 5201108.
2. **K. Li, J. Bird, J. Kadel and W. Williams** “A Flux-Focusing Cycloidal Magnetic Gearbox” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 51, no. 11, pp. 1–4, Nov. 2015.

А.Р. Гудков, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Машины постоянного тока активно применяются в большом спектре различных задач для совершенно разных отраслей промышленности. В ряде случаев данные машины являются незаменимым инструментом для решения самых разных технических задач, так как имеют ряд уникальных характеристик и преимуществ над асинхронными и синхронными машинами. Все это позволяет машинам постоянного тока занимать прочные позиции на рынке электродвигателей не только в России, но и в мире. Быстрый и точный метод расчета магнитной системы машины постоянного тока является залогом эффективности и надежности полученной машины.

Существуют следующие методы расчета магнитной системы машины постоянного тока: математическое моделирование, электрическое моделирование. Данные методы могут быть использованы как при проектировании данного вида машин, так и при анализе режимов работы машин постоянного тока.

В работе рассматривается подход, основанный на численном моделировании магнитной системы машины постоянного тока. Планируется разработка цифровой модели магнитной системы электрической машины в программных комплексах EasyMAG3D и Siemens NX, моделирование различных режимов работы исследуемой машины, сбор результатов на основе проведенных опытов [1]. Далее следует анализ полученной информации и построение характеристик, отражающих работу исследуемой машины в разных условиях.

В докладе представлена модель магнитной системы, разработанная в программных комплексах EasyMAG3D и Siemens NX, предназначенная для отображения конструкции исследуемой магнитной системы, имитации различных режимов работы машины постоянного тока и построения характеристик исследуемой магнитной системы. Проанализировав полученные результаты, можно оценить точность расчета модели, сравнив полученные результаты с данными указанными производителем в документации к реальному образцу.

Литература

1. **Fitzgerald, A.E.; Kingsley, Charles Jr.; Umans, Stephen D.** (2003), *Electric Machinery* (6th ed.)

С.И. Пластинин, студ.;

рук. С.А. Аверьянова, к.ф-м.н., доц. (СПБПУ, Санкт-Петербург)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АБЛЯЦИИ В АВТОГЕНЕРИРУЮЩЕМ ДУГОГАСИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ

Высоковольтные выключатели с автогенерирующим дугогасительными устройствами (АГДУ) предназначены для коммутации электрических сетей в нормальных и аварийных режимах и характеризуются отключающей способностью, которая зависит от множества факторов, но определяющими считаются давление в нуле тока и скорость подхода тока к нулю. Одним из способов повышения давления элегазового АГДУ является абляция фторопластовых стенок сопла.

В данной работе проведено численное исследование повышения давления за счет влияния абляции в программном комплексе Comsol Multiphysics. Расчетная геометрия на основании [1] приведена на рисунке 1. Математическая модель для численного исследования процессов абляции содержит эмпирический коэффициент в формуле определения массового расхода от стенки, для определения которого было произведено сравнение расчетных и экспериментальных данных [1]. Расчетные кривые изменения давления для двух значений эмпирического коэффициента приведены на рисунке 2. Видно, что обе кривые демонстрируют качественное согласование с экспериментом. Для улучшения количественного согласования эмпирического коэффициента. Разрабатываемая численная модель предоставляет возможность исследования роста давления и отключающей способности АГДУ, играющих важную роль в высоковольтной энергетике.

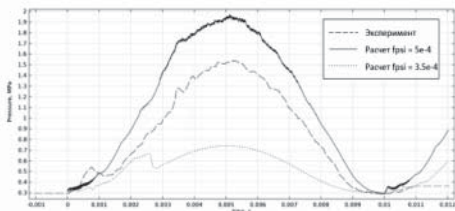
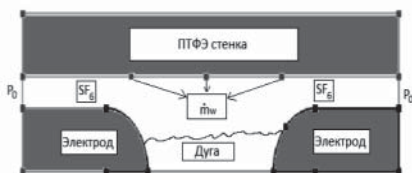


Рис. 1. Давление в центре расчетной области Рис. 2. Давление в центре расчетной области

Литература

1. Н. Urai, М. Koizumi, Y. Ooshita, N. Yaginuma, M. Tsukushi, Y. Tanaka. "Computational Arc And Fluid Dynamics Simulation Of Spatial Dielectric Strength For Large Current Interruption In High-Voltage Circuit Breakers". International Conference on Gas Discharges and Their Applications», 2010, p. 106.

И.В. Фофанов, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей их подключают к нескольким источникам питания. Когда один из источников по какой-то причине отключается, оборудование запитывают от резервного источника. Для автоматического перехода на резервный источник используют устройство автоматического ввода резерва (АВР), которое контролирует напряжение на обоих источниках питания, состояние коммутационных аппаратов и на основании этих данных выдаёт команды на моторные приводы и электромагниты управления аппаратов.

В соответствии с категорией надежности, выделяемой «Правилами устройства электроустановок» [1], электроприемники I и II категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Цель работы состоит в разработке логических моделей для реализации цифровой системы управления [2] и отработке алгоритмов работы устройства АВР выполненных по схемам 2-в-1, 2-в-2, 3-в-1, 3-в-2 на контакторах, на автоматических выключателях в литом корпусе и на воздушных автоматических выключателях.

По результатам работы были составлены спецификации примененного оборудования для каждой типовой схемы АВР. Для выбранных коммутационных аппаратов, были разработаны логические модели с учетом отдельных особенностей каждого из аппаратов. Разработанные модели позволили построить графы состояний для каждой из заданных схем АВР. На основе графов состояний для схемы АВР 2-в-2 были разработаны программы для реализации АВР в программном комплексе CodeSys [3]. Разработанные программы позволили исследовать поведение устройства АВР при различных неноминальных режимах работы электрической сети.

Литература

1. Автоматический Ввод Резерва. Обзор решений. Серия инженера-проектировщика. 9CND00000001818, ООО «АББ», подразделение «Низковольтное оборудование», 2015.
2. **И.Л. Никольская** Математическая логика. М.: Высшая школа, 1981.
3. CODESYS V3.5. Первый старт. Руководство пользователя. Версия 3.0, 2022.

А.С. Зененко, асп.; рук. В.С. Ларин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В процессе эксплуатации неизбежно возникают ситуации при которых приходится сомневаться в работоспособности трансформаторного оборудования. На данный момент разработано большое количество методов, пригодных для диагностики трансформаторов на месте установки, однако, применение большого их количества является очень дорогой и долгой процедурой, из-за чего существует потребность в наличии быстрых методов оценки состояния трансформатора.

Среди существующих методов неразрушающей диагностики, метод частотных характеристик (МЧХ) является мощным инструментом для обнаружения механических повреждений обмоток без необходимости демонтажа оборудования. Обычно анализ частотных характеристик основывается на сравнении текущих и исходных частотных характеристик с помощью визуального сравнения, корреляционного анализа, эквивалентных RLC-моделей и др. Вместе с тем, частотные характеристики несут в себе информацию об основных параметрах трансформатора (Z_k , K_r , C , X_k , R , P_{xx}), которые более удобны для сравнения.

Поскольку данные параметры итак используются в качестве диагностических, физичны и, как правило, уже получены в рамках приемо-сдаточных испытаний, появляется возможность сравнения этих величин с полученными, по результатам измерения МЧХ, и принятия решения о состоянии оборудования.

В докладе описана методика получения диагностических параметров из результатов измерения МЧХ.

Цели и задачи данной работы заключаются в адаптации МЧХ для экспресс-оценки состояния трансформатора.

Литература

1. ГОСТ Р 59239-2020 (МЭК 60076-18:2012) Трансформаторы силовые и реакторы. Метод измерения частотных характеристик. М: Стандартинформ, 2021. 50 с.

А.А. Патеева, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ

В настоящее время существует тенденция увеличения использования нетрадиционных источников энергии и развития распределенной генерации. Необходимыми элементами таких систем электроснабжения являются накопители энергии. Вследствие развития сверхпроводящих технологий и снижения стоимости соответствующих материалов одним из наиболее перспективных накопителей является индуктивный. Базовые функции накопителя реализуются посредством силового электронного регулятора, обеспечивающего потребление и генерирование электрической энергии [1]. При этом преобразовательное устройство способно выполнять ряд дополнительных функций, связанных с повышением качества электроэнергии, что является актуальной задачей [2].

Исследуемый регулятор мощности для индуктивного накопителя реализуется на базе трехфазного транзисторного преобразователя (инвертора тока), который подключается к сети через емкостно-индуктивный фильтр. Характеристики устройства определяются алгоритмами работы системы управления и используемым методом модуляции тока. Наиболее эффективное использование накопителя обеспечивается в случае применения векторной широтно-импульсной модуляции. Управление мощностью происходит посредством регулирования выходного тока преобразователя, а LC-фильтр устраняет высокочастотные модуляционные гармоники тока. Структура и параметры пассивного фильтра в значительной степени влияют на качество формируемого тока. Поскольку регулятор должен реализовывать не только обмен активной мощностью между накопителем и сетью, но и функции компенсации реактивной мощности, симметрирования токов, а также фильтрацию наиболее значимых гармонических составляющих тока, расчет выходного фильтра преобразователя представляет особую сложность.

Для исследования работы устройства созданы компьютерные модели, позволяющие выполнить комплексный анализ его работы при реализации различных функций. Посредством моделирования получены характеристики регулятора, поясняющие влияние параметров фильтра и алгоритмов управления на качество тока, формируемого преобразователем.

Литература

1. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника. — М.: изд. МЭИ, 2009.
2. **Подгурская И.Г., Рогачева А.Г., Наумов И.В.** Управление качеством электроэнергии. — Благовещенск: изд. АмГУ, 2015.

Е.А. Рунец, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ КЛЮЧАМИ ШИФРОВАНИЯ

Разработка комплексных решений автоматизации для космических систем с динамически изменяющимися ключами шифрования требует учета особенностей космической среды, включая высокую степень автономности, ограниченные ресурсы и высокие требования к надежности.

Одним из самых надежных способов защитить объект является использование систем с динамически изменяющимися ключами шифрования, так как существует угроза компрометации ключей и анализ трафика [1]. Они представляют собой постоянно изменяющийся пакет данных, передаваемый с прибора на блок сигнализации через радиоканал. С каждой новой командой с прибора посылается код, который ранее не использовался [2]. Для космических систем немаловажным является исследование оптимальных стратегий динамической смены ключей, которые обеспечат высокий уровень безопасности при минимальном влиянии на производительность системы в условиях ограниченных ресурсов космических аппаратов. Необходимо будет также исследовать возможности использования динамически изменяющихся ключей и конечных автоматов в контексте автономных космических систем для обеспечения безопасной коммуникации и принятия решений в реальном времени без человеческого вмешательства.

В данной работе планируется разработать отладочную плату для тестирования работы составляющих блока космической системы, алгоритм работы шифрования данных под определённую архитектуру с защитой от компрометации ключей. Будет произведён подбор элементной базы, проектировка и отладка платы для включения этажей блока со сверхвысокочастотным излучением. Планируется написание и анализ алгоритмов работы программируемой логической интегральной схемы из семейства Cyclone III для отладочной платы.

Литература

1. **Weng Fook Lee.** «Verilog Coding for Logic Synthesis», 2016.
2. **Steve Kilts.** «Advanced FPGA Design. Architecture, Implementation, and Optimization», 2012.

*А.С. Фоминых, студ; рук. С.А. Аверьянова, к.ф.-м.н., доц.
(СПбПУ Политех им. Петра Великого, г. Санкт-Петербург)*

ВЛИЯНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕЖКОНТАКТНОГО ПРОМЕЖУТКА

Моделирование процесса гашения дуги в дугогасительном устройстве (ДУ) представляет собой сложную мультифизическую задачу. Результаты такого моделирования важны для проектирования современных ДУ и анализа их отключающей способности. В конструкциях ДУ контакты могут выходить за пределы сопловой части, что приводит к формированию ударных волн за срезом сопла, при давлениях, характерных для ДУ высоковольтных выключателей. В настоящей работе построена численная модель для анализа восстановления прочности межконтактного промежутка в ДУ по данным работы [1]. Геометрия, использованная для численного эксперимента, приведена на рисунке 1. В численном эксперименте, принято, что перепад давления в ДУ составляет 4:1 атм, что приводит к формированию ударной волны за срезом сопла при $x = 40$ мм (рис. 1). Анализ распределения напряженности электрического поля вдоль оси ДУ за 40 мкс до нуля тока, приведенный на рисунке 2 в сравнении с экспериментальными данными, показывает, что за ударной волной напряженность электрического поля выше, чем до нее. Тенденция сохраняется при приближении тока к нулю, следовательно, за ударной волной скорость восстановления прочности межконтактного промежутка будет меньше, что может привести к ухудшению отключающей способности ДУ.

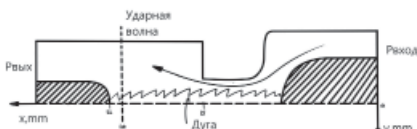


Рис. 1. Геометрия, использованная для численного эксперимента [1]

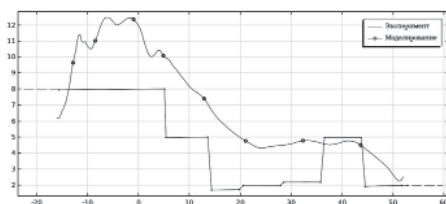


Рис. 2. Распределение вдоль оси ДУ расчётной и экспериментальной [1] напряженности электрического поля за 40 мкс до нуля тока

Полученная модель требует уточнений для улучшения согласованности расчётных и экспериментальных данных, однако уже сейчас она может быть использована для предварительного анализа восстановления прочности межконтактного промежутка при конструировании ДУ.

Литература

1. **Ch. Sturzenegger R. Reinhardt H.J. Schoetzau**, Influence of a shock wave on the electric field strength distribution in a gas blast interrupter // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems — 1980 — Vol PAS-99 — Num. 5.

А.М. Аверкиев, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ДЕФЕКТОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

На начало 2023 года большая часть выработки электроэнергии в единой энергетической системе России осуществляется на тепловых и атомных электрических станциях, 66% и 12% от общего числа мощности, соответственно [1]. Важнейшим элементом данных электростанций являются турбогенераторы, от надежной и бесперебойной работы которых зависит целостность энергетической инфраструктуры. Именно поэтому к работе турбогенераторов предъявляются высокие требования в обеспечении надежности их работы на протяжении всего срока эксплуатации. Для предотвращения аварийных ситуаций на турбогенераторах выработана практика выявления неисправностей путем мониторинга параметров генератора.

Большая часть систем онлайн-мониторинга основана на использовании датчиков, устанавливаемых в местах контролирования, с последующим оцифровыванием сигналов и выводом их на персональный компьютер оператора. Наиболее эффективными, но в то же время и самыми дорогими, применяющимися на практике, системами являются те, которые используют машинное обучение и искусственный интеллект для анализа параметров турбогенератора.

Интеллектуальные системы мониторинга имеют ряд преимуществ над классическими [2]. Главным из них является непрерывный анализ данных контроля, позволяющий заблаговременно обнаружить отклонения в работе машины, что резко уменьшает вероятность выхода из строя. Кроме того, применение интеллектуальной мониторинговой системы, при наличии достаточно большой базы данных, позволит перейти к предиктивному анализу состояния машины и обслуживанию по техническому состоянию.

В работе исследуется возможность создания цифрового двойника турбогенератора на основе численного моделирования электромагнитной системы в программном комплексе EasyMAG3D. Для этого разработаны и рассчитаны модели дефектов турбогенератора, и проведено сравнение параметров генератора в исправном и поврежденном состоянии.

Литература

1. **СО ЕЭС** Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году.
2. **Шаров Ю.В. и др.** Цифровизация контроля текущего состояния и предиктивной диагностики турбогенераторов на электростанциях // Энергия. 2019. Т. 49. № 6. С. 19–30.

Е.А. Кущенко, асп.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВТСП МОТОР-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Применение высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов в электрических машинах является одним из перспективных направлений в области электроэнергетики и электротехники. Научные исследования по всему миру показывают, что применение ВТСП материалов в генераторах и двигателях способствует улучшению массогабаритных показателей машины, а также уменьшению потерь, благодаря высокой плотности тока, превосходящей медные проводники в десятки раз [1, 2].

В работе исследуется индукторная машина с ВТСП обмоткой возбуждения. Разработанная конструкция предназначена для работы в качестве электромеханического преобразователя энергии в кинетическом накопителе энергии (КНЭ): в режиме двигателя при накоплении энергии и в режиме генератора при отдаче энергии.

Разработана математическая модель мотор-генератора с учетом инерции маховика, позволяющая моделировать различные режимы работ накопителя. Для определения параметров мотор/генератора (индуктивности, сопротивления обмоток и взаимной индуктивности) были произведены электромагнитные расчеты в программе численного анализа электромагнитных полей EasyMag 3D. Полученные параметры использовались в макромодели ВТСП мотор/генератора.

В докладе представлены результаты моделирования различных режимов работы кинетического накопителя энергии с ВТСП мотор-генератором. Проведены расчеты возможности изменения выходных параметров КНЭ с помощью регулирования тока возбуждения в ВТСП обмотке. Определены пределы регулирования тока возбуждения с учетом нелинейного электрического сопротивления сверхпроводящего материала.

Литература

1. **Y. Gao, W.Wang, X.Wang, H.Ye, Y. Zhang.** Design, Fabrication, and Testing of a YBCO Racetrack Coil for an HTS Synchronous Motor With HTS Flux Pump // IEEE, VOL. 30, NO. 4, JUNE 2020.
2. **Murat G. Kesgin, Peng Han, Narges Taran, Dan M. Ionel.** Overview of Flywheel Systems for Renewable Energy Storage with a Design Study for High-speed Axial-flux Permanent-magnet Machines // 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications Brasov, Romania, Nov. 3–6, 2019

А.К. Силуянов, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

При современном уровне развития ветроэнергетики стало целесообразно применять синхронные генераторы с постоянными магнитами. Данный тип генераторов появился в 1930 году, и их применение становится все более актуальным. В ветроэнергетике остаются актуальными вопросы, которые связаны с увеличением коэффициента полезного действия (КПД), автономностью, надежностью и высокой удельной мощностью. В настоящее время активно разрабатываются различные конструкции синхронных генераторов, которые будут наиболее компактны, обладают высоким КПД и минимальными потерями.

В работе рассматривается конструкция магнитной системы ветрогенератора мощностью 3,6 МВт со скоростью вращения 12 об/мин [1]. Особенностью данного генератора является использование многофазной (11 фаз) обмотки. Рассматриваются три варианта расположения постоянных магнитов: радиально намагниченные на поверхности магнитопровода, с чередующейся радиально-осевой намагниченностью и наклоненными магнитами.

В докладе представлены результаты моделирования магнитных систем синхронных генераторов и проведен анализ статических характеристик с помощью программного комплекса EasyMAG3D.

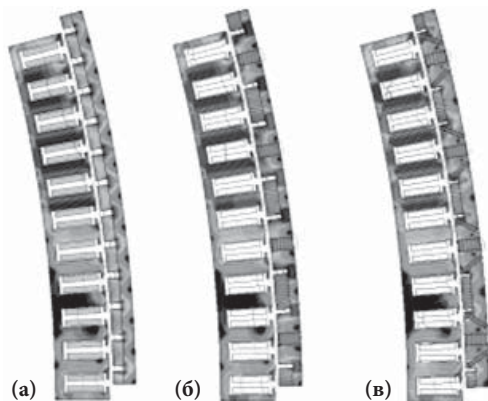


Рис. 1. Установка постоянных магнитов (а) — радиально-намагнитченные; (б) — с чередующейся радиально-осевой намагниченностью; (в) — с наклоненными магнитами

Литература

1. A. Babl, G. Dajaku, D. Gerling, "Two New Rotor Designs with Reduced Amount of Rare-Earth Magnet Material for a Permanent Magnet Wind Generator for a 4MW Application," 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2020, pp. 1944–1949.

*Д.Р. Еркналиев, Д.В. Гридунов, студенты;
рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Цель исследования состоит в разработке программного комплекса для снижения потерь в проводниках одного среднестатистического подъезда жилого дома. Разработанный программный комплекс будет реализовывать алгоритм определения оптимального распределения нагрузок по фазам, что позволит сократить потери и приведет к значительной экономии электроэнергии, а также уменьшению затрат в крупных мегаполисах.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) Разработка алгоритма вычисления потерь;
- 2) Разработка математической модели для анализа потерь в многоквартирном доме;
- 3) Разработка алгоритма переподключения потребителей на основе полученных данных [1].

По результатам работы был разработан алгоритм вычисления потерь и построена математическая модель на платформе «Open modelica».

Результаты моделирования показали, что алгоритм позволяет вычислить минимальные значение потерь при различных подключениях потребителя.

Для разработанной модели был синтезирован алгоритм переподключения потребителей с целью получения оптимальной, с точки зрения потерь, конфигурации потребителей по фазам. Разработанный алгоритм позволяет снизить потери в этажных линиях жилого дома на 15–25%.

Литература

1. Патент № 2351049 С1 Российская Федерация, МПК H02J 3/00, H02J 3/28. способ снижения потерь электроэнергии: № 2007149186/09: заявл. 29.12.2007: опубл. 27.03.2009 / М.С. Гринкруг, И.А. Митин, Ю.И. Ткачева; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» (ГОУВПО «КнАГТУ»). — EDN FGAAAE.

Д.А. Куренков, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УМНЫХ СЕТЕЙ И АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время актуальность использования систем автоматизации в системе городского электроснабжения становится все более очевидной. С постоянным увеличением потребления электроэнергии и стремлением к сокращению негативного воздействия на окружающую среду, необходимо обратить внимание на эффективное управление и оптимизацию энергоресурсов. Исследование, которое будет представлено на данной конференции, сосредоточено на перспективах применения технологий умных сетей (Smart Grid) в системе городского электроснабжения с целью оптимизации процессов мониторинга потребления электроэнергии, обеспечения ее качества и анализа других важных параметров [1].

В ходе исследования основное внимание уделено анализу проблем и вызовов, с которыми сталкиваются городские инфраструктуры при внедрении систем автоматизации. Это включает в себя технические аспекты, экономические ограничения и правовые нормы, влияющие на успешное внедрение умных систем управления электроэнергией. Исследование также фокусируется на роли и значимости больших данных (Big Data) в контексте управления городским электроснабжением, включая их использование для прогнозирования потребления, оптимизации процессов распределения и повышения энергоэффективности [2].

На основе обзора литературы и математических моделей систем автоматизации, будут представлены аналитические выводы и оценки о перспективах использования данных систем в управлении городским электроснабжением. А также будет создана локальная модель, визуализирующая ценную информацию о потенциале технологий умных сетей и больших данных для улучшения энергоэффективности и устойчивости систем городского электроснабжения.

Литература

1. **Семячков К.А.** Цифровые данные как ключевой ресурс развития умных городов // ЭПП. 2020
2. Обзор панельной дискуссии «Применение технологии больших данных (Big Data) в энергетике» [Электронный ресурс] // Единый энергетический портал информационно-аналитического центра «Энергия». — 2018. — Режим доступа: <https://eepir.ru/new/obzor-panelnoj-diskussii-primenenie-tehnologii-bolshih-dannyh-big-data-v-energetike/> (дата обращения: 18.10.2023).

А.Ю. Верстунин, асп.; Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ НА ОСНОВАНИИ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ КАССИ-МАЙРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПЛАЗМЫ

При расчете дугогасительных систем коммутационных аппаратов используют математические модели электрической дуги. Такие модели позволяют оценить поведение системы и при необходимости скорректировать определенные параметры на этапе опытно-конструкторских работ.

На данный момент разработано и предложено большое число математических моделей электрической дуги, применимые к коммутационным аппаратам. Модели характеризуются разной степенью применимости.

В данной работе рассматривается модель, основанная на гибридной модели Касси-Майра и использовании магнитогидродинамической теории (МГД-теория).

Неопределенные параметры модели Касси-Майра получают с помощью эмпирических выражений, которые базируются на экспериментальных данных, такой подход сложен и требует значительных временных затрат. Для увеличения точности и скорости проводимых исследований, применяется МГД-теория [1].

В рамках решения поставленной задачи в программном обеспечении COMSOL Multiphysics была разработана модель электрической дуги в 2D постановке, которая является источником неопределенных параметров для модели Касси-Майра (постоянная времени Майра τ_m , постоянная времени Касси τ_c , постоянное напряжение дуги U_c и рассеиваемая мощность дуги P_0).

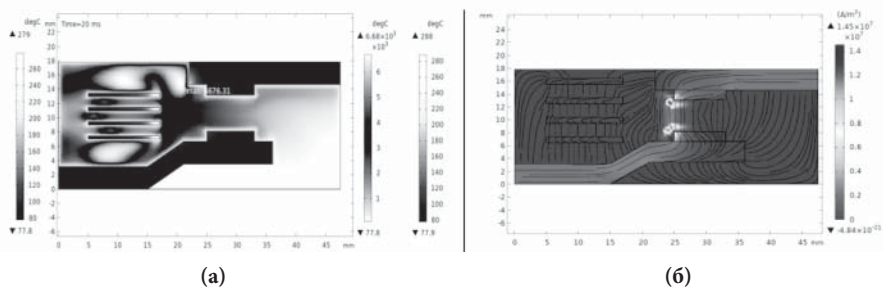


Рис. 1. (а) — Распределение температуры в 2D постановке;
(б) — Распределение плотности тока в 2D постановке

Литература

1. Fan Yang, Zhaohui Tang, Yu Shen, Lei Su, Zhichun Yang. Parameter Determination Method of Cassie-Mayr Hybrid Arc Model Based on Magnetohydrodynamics Plasma Theory, *Frontiers in Energy Research*, 2022.

*М.Д. Илютин, студ.; рук. А.В. Соломатин, ст. преп.;
М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В силу постоянного развития техники и увеличения предъявляемых требований к ее работе, необходимость в эффективном тестировании компонентов и узлов только возрастает.

Один из наиболее распространенных методов проведения испытаний — использование регенеративных испытательных стендов, которые позволяют возвращать выделяемую энергию обратно в электросеть [1]. Это позволяет снизить затраты на энергоресурсы.

Таким образом, важной задачей является анализ существующих решений для испытаний преобразовательного оборудования с возможностью рекуперации энергии в сеть.

В данной работе рассмотрены и разработаны разные подходы существующих решений, и произведено их сравнение: на полностью статических устройствах (рис. 1 (а)) и с использованием электрических машин (рис. 1 (б)). Сравнив КПД стендов и стоимость оборудования, по итогу был сделан вывод, что вариант стенда с машинным агрегатом не подходит для полноценных испытаний преобразователей частоты.

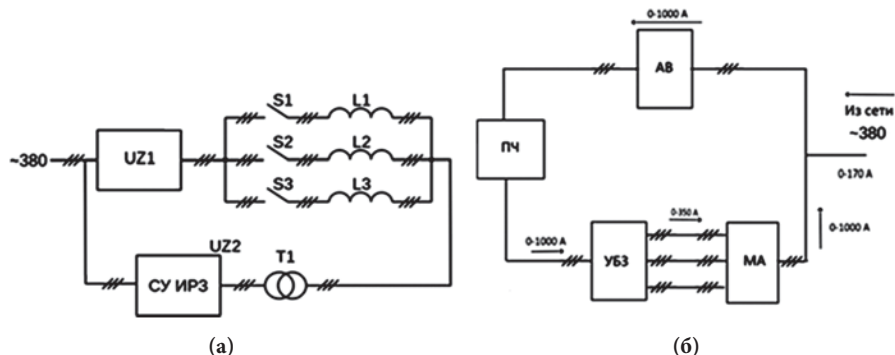


Рис. 1. Структурные схемы рассмотренных систем:

- (а) — структурная схема с индуктивной нагрузкой,
 (б) — структурная схема с индуктивной нагрузкой активно-индуктивной нагрузкой
 (а): UZ1 — Преобразователь частоты, S1...3 — Автоматический выключатель,
 L1...3 — Активный фильтр, UZ2 — Станция управления, T1 — Трансформатор
 (б): ПЧ — Преобразователь частоты, УБЗ — Универсальный блок защиты,
 МА — Машинный агрегат

Литература

1. **Степанов, В.М., & Котеленко, С.В.** (2011). Анализ технических решений по рекуперации электрической энергии. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, (6-1), 152–158.

Н.В. Киринос, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

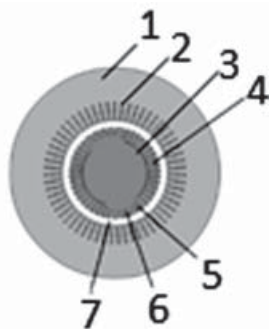


Рис. 1. Модель АСТГ

При увеличении использования высоковольтных и сверхвысоковольтных линий с целью обеспечения развивающихся промышленных регионов электроэнергией и укрепления взаимосвязей между энергетическими зонами, отмечается значительный рост реактивной мощности. Из-за этого возникает потребность в использовании устройств компенсации реактивной мощности. Одним из решений данной проблемы является повсеместный ввод в эксплуатацию асинхронизированных турбогенераторов (АСТГ) [1]. Использование АСТГ позволяет, помимо генерации электроэнергии, осуществлять потребление реактивной мощности из сети непосредственно на тепловых или атомных электростанциях. Основными недостатками АСТГ являются трудно-реализуемая система управления и малый запас статической прочности, по сравнению с классическими синхронными турбогенераторами [2].

В данной работе разработана упрощенная модель АСТГ, которая позволяет произвести анализ работы АСТГ в различных режимах. Исходные компоненты модели генератора включали в себя элементы асинхронизированного турбогенератора с воздушным охлаждением ТЗФА-160, расчеты модели выполнены в COMSOL Multiphysics. На рисунке 1 представлена конструкция модели АСТГ.

Сердечник статора 1 выполнен из электротехнической стали, с обмоткой 2 из меди, ротор 3 из идеализированной электротехнической стали. Ротор содержит обмотку возбуждения 4 в прямоугольных пазах, включая управляемые катушки 5, 6. Между статором и ротором есть воздушный зазор 7.

В результате работы была исследована модель АСТГ и получены характеристики необходимые для анализа различных режимов работы. Результаты моделирования отображены в докладе.

Литература

1. **Лабунец И.А., Лебедева Т.В., Лохматов А.П.** Динамическая устойчивость АС-турбогенераторов с различными структурами системы возбуждения-Изв // АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1986. — №. 3.
2. **Klempner G., Kerszenbaum I.** Handbook of large turbo-generator operation and maintenance. — John Wiley & Sons, 2011. — Т. 38.

А.А. Ковалев, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА КОНТАКТОРА

Виртуальные лабораторные работы представляют собой современный и эффективный метод обучения, обладающий преимуществами доступности, безопасности и повторяемости экспериментов. Они расширяют возможности обучения, позволяя моделировать различные сценарии и способствуют углубленному пониманию научных дисциплин студентами. Электромагниты в контакторах выполняют роль ключевого элемента, обеспечивающего эффективное переключение больших электрических нагрузок. Они должны обеспечивать максимальную надежность и точность работы системы.

Основные методы исследования электромагнитных систем в контакторах включают аналитическое исследование, метод модельных экспериментов и компьютерное моделирование.

В данной работе рассматривается метод компьютерного моделирования на основе численного моделирования в программе для конечно-элементного анализа COMSOL Multiphysics. С помощью данного метода создается модель реального электромагнитного контактора, имеющегося на кафедре, и на основе созданной модели разрабатывается виртуальный лабораторный стенд с возможностью исследования влияния различных факторов на работу электромагнитного привода контактора. В докладе представлена теоретическая справка об электромагнитах и разработан виртуальный лабораторный стенд, позволяющий изучить влияние различных факторов на электромагнит.

Литература

1. **В.П. Миловзоров.** Электромагнитные устройства автоматики — М.: Высшая школа, 1974. — 416 с.
2. **А.Г. Славинская.** Электромагниты и постоянные магниты — М.: Энергия, 1972. — 248 с.

В.Э. Третьяков, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «УМНЫЙ ДОМ»

В рамках исследования технологии «Умный дом» на кафедре ЭМЭЭА НИУ «МЭИ» совместно с российским производителем электротехнического оборудования, компанией «ЕКФ» будет реализован учебно-демонстрационный стенд на базе оборудования отечественной компании, показывающий возможности применения данной системы, включая технологию «Умный свет». Технология «Умный дом» становится все более актуальной в современном мире. Она позволяет автоматизировать и оптимизировать управление различными системами в доме, делая жизнь более комфортной и безопасной [1]. Управление освещением с помощью данной технологии позволяет экономить время и электроэнергию и эффективнее использовать доступное освещение, создавая различные сценарии его использования. Для реализации системы «умный свет» необходимы следующие технические элементы: программируемый логический контроллер (ПЛК), датчики присутствия (движения, освещенности, открытия двери, инфракрасный датчик), коммутационные устройства. Именно за счет использования ПЛК в цепочке управления, существует возможность создавать различные сценарии использования освещения: автоматическое управление, ручное управление, программируемые сценарии и таймеры. Эксперты считают технологию «умных» устройств одной из наиболее перспективных технологий в мире [2]. Особенностью использования таких технологий является точность машинной работы, которая лишена многих человеческих недостатков.

В перспективе исследование данного проекта может быть полезным для увеличения маркетинговой силы технологии «умный дом» и повсеместного оснащения систем «умный свет», для более эффективной экономии электроэнергии, а также поможет дать рекомендации для оптимизации исследуемой технологии.

Литература

1. **Харке В.** Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникации в жилищном строительстве. Москва: Техносфера, 2006. — с.
2. **Сигов А.С., Андрианова Е.Г., Жуков Д.О., Зыков С.В., Тарасов И.Е.** КВАНТОВАЯ ИНФОРМАТИКА: ОБЗОР ОСНОВНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ // Russian Technological Journal. 2019; 7 (1) : 5–37.

Е.П. Сенчиков, студ.;
ук. П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ ПО COMSOL MULTIPHYSICS В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРОЕКТИРОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРА

COMSOL Multiphysics — программное обеспечение для моделирования многих видов физических процессов, включая тепловые, электромагнитные и механические [1].

С помощью данного программного обеспечения (ПО) можно проводить расчёты сложных тепловых и гидродинамических процессов, а также оптимизировать конструкции тепловой техники.

Контроль температуры в гидрогенераторах (ГГ) играет ключевую роль в обеспечении безопасной и эффективной работы оборудования. Несколько основных функций контроля температуры: защита от перегрева, оптимизация работы, мониторинг состояния оборудования и обеспечение безопасности персонала [2].

Приступая к проектированию системы охлаждения, необходимо тщательно провести анализ на эффективную работу системы с заданными условиями параметрами. В этом ключевую роль играет ПО COMSOL Multiphysics.

Для этого необходимо спроектировать 3D модель исследуемого ГГ с системой охлаждения, а также задать все необходимые параметры и физику процессов, протекающих в машине.

Некоторые библиотеки, которые будут использованы в работе:

- Модуль «Теплопередача» позволяет выполнять тепловые расчёты и анализировать влияние тепловых нагрузок;
- Модуль «Вычислительная гидродинамика» используется для численного моделирования гидродинамических процессов.

Эффективность охлаждения ГГ можно будет увидеть с помощью визуализированной картины распределения температуры в ГГ, и при помощи температурных графиков, на основе которых можно дать итог анализу.

Литература

1. Введение в COMSOL Multiphysics. — URL: https://cdn.comsol.com/doc/5.4/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.ru_RU.pdf (дата обращения: 04.12.2023)
2. **G. Mottershead, S. Bomben, I. Kerszenbaum, G. Klempner.** “HANDBOOK OF LARGE HYDROGENERATORS Operation and Maintenance” by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, published simultaneously in Canada — IEEE PRESS Wiley, 2021.

Секция 25

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Electric drive and automation

Председатель секции: д.т.н., профессор Анучин Алексей Сергеевич

Секретарь секции: к.т.н. Благодаров Дмитрий Анатольевич

Р.В. Лебедев, студ.; рук. А.Д. Лхамдондог, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТНД В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

Качество электроэнергии является важной составляющей энергосистемы и определяется рядом показателей. Один из них — показатель ТНД (Total Harmonic Distorsions) характеризует искривление синусоидальности сигнала сети по напряжению [1]. Чем ниже коэффициент искажения, тем качественнее работа электрической машины, подключенной к высоковольтному преобразователю частоты, и дольше срок службы оборудования. Преобразователь частоты предназначен для снижения потребления электроэнергии оборудования за счет возможности плавного пуска и широкого диапазона регулировки скорости вращения мощных высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей. Помимо преобразования входящего сигнала, преобразователь способен значительно повышать качество электроэнергии. К примеру, если использовать частотный преобразователь для преобразования электроэнергии на выходе генератора или двигателя в режиме рекуперации.

Существует большое количество моделей преобразователей частоты, в устройстве каждого из которых проблема высокого значения ТНД решается по-разному. Согласно недавним исследованиям наиболее эффективным является подключение полупроводниковых силовых модулей многоуровневым каскадным методом [2]. В результате ступенчатого преобразования значение коэффициента синусоидальности может достигать 2% при подключении электрических машин от 10 МВт.

В результате исследования было определено, что применение каскадной схемы соединения силовых тиристорных блоков помогает снизить коэффициент ТНД на 3–4%. Предлагаемый метод способен увеличить срок службы оборудования и снизить негативные последствия гармонических составляющих в сети.

Литература

1. ГОСТ Р 54130-2010. Качество электрической энергии
2. Schneider Electric S.A. Руководство по устройству электроустановок 2009.

С.А. Герасюк, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДХВАТА И АВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

В современной промышленности, где автоматизация играет ключевую роль, преобразователи частоты становятся все более неотъемлемой частью приводных систем. Эти устройства обеспечивают гибкость и точное управление скоростью и моментом двигателей. Однако, вопросы надежности, подхвата и аварийного управления остаются актуальными вызовами. Наше исследование направлено на разработку новых методов и решений для обеспечения стабильной и надежной работы приводных систем.

Новизна исследования проявляется в разработке и анализе резервирования электроприводов, работающих на базе асинхронных двигателей с фазным ротором, и питаемых по схеме асинхронно-вентильного каскада. В существующей схеме резервирования, описанной в [1], осуществляется переключение на реостатно-контакторное устройство при отказе преобразователя частоты. Однако, наша работа предлагает новый подход к резервированию, который учитывает недостатки традиционной системы.

Авторы статьи провели обширные исследования, включая анализ существующих методов, разработку новых стратегий подхвата и аварийного управления, а также методов измерения параметров напряжения в реальном времени. Наш личный вклад заключается в создании и тестировании инновационных решений, способных адаптироваться к различным типам машин и обеспечивать надежное и точное управление.

Результаты проведенных исследований обладают значительным потенциалом для практического применения в области управления электроприводами. Модифицированный метод резервирования, учитывающий недостатки существующей системы, предоставляет перспективу более надежного и эффективного резервирования электроприводов, особенно тех, которые работают на базе асинхронных двигателей с фазным ротором.

Таким образом, наши исследования не только расширяют научное понимание вопросов резервирования в электроприводах, но и предоставляют конкретные практические решения, способствующие повышению надежности и эффективности систем управления.

Литература

1. **Onishchenko G.B., Ponomarev V.M., Anishev E.Y., Verber O.L. et al.** Regulated Electric Drive of Main Circulation Pumps of Beloyarsk NPP Unit III. — Electric Power Plants, 1982, No. 6.

*Д.Н. Логвинов, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДВЕРЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

В рельсовом электротранспорте в качестве привода вагонных дверей используются различные электрические машины, которые обладают существенными ограничениями в работе. Данный узел в электротранспорте является крайне важным, так как его выход из строя может подвергнуть опасности жизни пассажиров. С каждым годом растет популярность использования рельсового электротранспорта, а вместе с этим растет и количество отказов систем электроприводов вагонных дверей [1].

В качестве приводов дверей рельсового электротранспорта могут быть использованы различные электродвигатели, однако у каждого есть свои недостатки. Двигатель постоянного тока искрит и из-за ненадежности коллекторно-щеточного узла имеет очень большие ограничения в сфере использования, в том числе в транспорте. А в асинхронных двигателях сложно контролировать момент, особенно в отсутствии датчика положения ротора для векторного управления [2].

Опираясь на предыдущий опыт, в работе было предложено использовать в качестве привода дверей рельсового электротранспорта вентильный электродвигатель с постоянными магнитами, так как он не имеет коллекторного узла и данная машина проще в контроле координат, даже в бездатчиковых системах. Было проведено моделирование вентильной машины «ДВМ83», на модели были проанализированы режимы пуска, торможения, экстренного торможения и аварийные режимы. По результатам моделирования в дальнейшем будут предложены алгоритмы системы управления для реализации всех необходимых задач. После чего на опытном образце будут проведены необходимые испытания с проверкой статических и динамических режимов, а также проверкой выбранного привода по тепловым режимам.

Литература

1. **Hsin Jen Hoh, Jinlong Wang, John H.L. Pang** «Metro Door System Reliability, Availability and Maintainability Analysis», 2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT).
2. **Navjeet Kaur, Ranjit Kumar Bindal** «Direct Torque Control of Induction Machine: A Review», 2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS).

*С.В. Кон, студ.; А.Б. Имомназаров, асп.;
рук. Р.Х. Бейтуллаева, доц. («КИЭИ», Узбекистан, г. Карши)*

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Потенциальная возможность снижения материало- и энергоёмкостей ряда электроприводов технологических машин и механизмов достигается при использовании линейных асинхронных электродвигателей (ЛАД).

Проводились работы по разработке линейного электропривода для различного технологического оборудования: платформенных кормораздатчиков, вибрационных смесителей и др. Исследования

проводились на математических и физических моделях. В соответствии с принятым численным методом расчёта электромагнитных процессов математическая модель асинхронного двигателя сводится к трём детализированным схемам замещения — первичной и вторичной электрической и магнитной цепей [1].

Базовая схема замещения двигателя представлена на рис. 1. В зависимости от положения ключа **К** по схеме можно производить расчёт двигателя с разомкнутым магнитопроводом [1]. Схемы замещения вторичной электрической и магнитной цепей рассматриваются как каскадное включение четырёхполюсников, каждый из которых соответствует зубцовому делению.

С целью повышения энергетических и тяговых показателей ЛАД снимались их характеристики холостого хода, короткого замыкания, рабочие, механические, распределение магнитных показателей в ярме, зубцах и воздушном зазоре по длине индуктора ЛАД. По результатам численных и физических экспериментов можно судить о достаточном совпадении результатов [2].

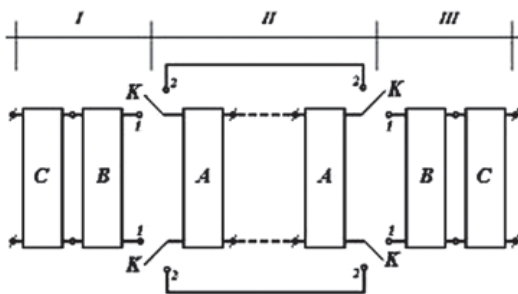


Рис. 1. Базовая схема замещения двигателя: I, III — зоны шунтирования; II — активная зона; ЛАД — замкнуты контакты 1; КраД — замкнуты контакты 2

Литература

1. **Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н.** Линейные асинхронные двигатели. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
2. **Yunusov R., Yusupov Sh., Imomnazarov A. and other.** Simulation of linear asynchronous motors of electric drive of quiet mechanisms. International Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO 2021).

А.С. Царев, студ.;
Ю.М. Сафонов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В последнее время, с целью повышения качества движения, ранее не регулируемые приводы делают регулируемыми с помощью преобразователя частоты (ПЧ), что позволяет эффективно управлять технологическим процессом.

ПЧ использует широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) для формирования напряжения нужной частоты. Повышая качество движения, ПЧ снижает срок службы электродвигателя, т.к. ранее изготовленные двигатели не были предназначены для работы от преобразователя.

Основной причиной выхода из строя старых электродвигателей можно назвать изменение температуры двигателя во время работы. При нагреве электродвигателя медные жилы и материалы изоляции расширяются, а при охлаждении — сужаются, но материалы изоляции и жилы двигателя делают это не одинаково, они имеют разные коэффициенты теплового расширения, из-за чего образуются микротрещины в материале изоляции. Так же из-за остывания и нагрева двигателя внутри него образуется конденсат, что вместе с микротрещинами приводит к пробое изоляции и выходу двигателя из строя. К сегодняшнему дню при производстве двигателей используются современные материалы для изоляции, которые расширяются и сужаются подобно медным жилам, благодаря чему микротрещины не образуются. Но на многих действующих установках стоят старые электродвигатели, для которых ШИМ сокращает срок их службы.

В сложившейся ситуации поставка новых, современных электродвигателей затруднена, поэтому предлагается модернизировать действующие установки, с целью повышения срока службы. Чтобы это сделать, нужно уменьшить перепад температур обмоток двигателя во время его работы и постараться держать его температуру на одном уровне. Для дополнительного изменения температуры электродвигателя предлагается изменять частоту ШИМ, а для случаев, когда момент нагрузки невелик — изменять реактивную составляющую тока.

На основе проведенного исследования были получены зависимости температуры обмоток электродвигателя от нагрузки и частоты питания. Полученные результаты позволяют синтезировать искусственную нейронную сеть, целью которой является интеллектуальное управление электродвигателем. Задачей интеллектуального управления является повышение срока службы электродвигателя, без снижения его производительности.

А.А. Елисеев, асп.; рук. Н.М. Кураев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

БЕЗРЕДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМ НИЗКОЧАСТОТНЫМ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В работе представлен безредукторный электропривод пассажирского лифта с энергоэффективным низкочастотным синхронным реактивным двигателем (СРД). Такой двигатель при условии работы только при частотах, соответствующих номинальной скорости кабины лифта, позволяет получить необходимый вращающий момент СРД при небольших рабочих токах. Подобный СРД целесообразно применять для электроприводов пассажирского лифта.

Типовым решением для пассажирского лифта является электропривод, включающий в свой состав асинхронный двигатель и червячный редуктор, который характеризуется сложной механической частью. В современных безредукторных электроприводах лифтов применяются многополюсные синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ), которые характеризуются высокой стоимостью ввиду использования в своей конструкции редкоземельных магнитов. Безредукторные электроприводы пассажирских лифтов обладают простой кинематикой, низким уровнем шума и вибраций по сравнению с редукторными электроприводами. В конструкции предлагаемого энергоэффективного двигателя не применяются редкоземельные магниты, что позволяет обеспечить технико-экономические показатели электропривода с СРД выше, чем у электропривода пассажирского лифта с СДПМ.

СРД не имеет обмоток на роторе и дополнительных обмоток возбуждения на статоре, что является конкурентным преимуществом по сравнению с классическими машинами, имеющими обмотки на роторе. У асинхронного электродвигателя наличие обмотки на роторе увеличивает электрические потери по сравнению с СРД в 1,6–1,8 раза [1].

Проведенные авторами экспериментальные и теоретические исследования подтверждают высокие технико-экономические показатели безредукторного электропривода с СРД по сравнению с редукторным электроприводом и безредукторным электроприводом с СДПМ.

Литература

1. **Гельвер Ф.А., Белоусов И.В., Самосейко В.Ф.** Результаты экспериментальных исследований опытного образца реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора // Вестник ПНИПУ 2019. Электротехника, информационные технологии, системы управления № 29, С. 151.

Т.К. Масленников, студ.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПО СХЕМЕ ДВОЙНОГО АКТИВНОГО МОСТА

В настоящее время благодаря последним достижениям в области силовой электроники и появлению транзисторов с широкой запрещённой зоной большое применение в качестве преобразователей постоянного напряжения получила топология так называемого «двойного активного моста», которая представляет из себя трансформатор, на первичной и вторичной обмотках которого подключены полные мосты. Данный тип преобразователей используется в зарядных станциях и возобновляемых источниках энергии из-за наличия гальванической развязки между первичной и вторичной сторонами преобразователя, высокой удельной мощности, двунаправленного обмена энергией [1].

Существует множество методов управления такой топологией преобразователя. Основной принцип управления заключается во временном сдвиге между сигналами управления ключей первичной и вторичной сторон трансформатора [2], который называется одиночным фазовым сдвигом

Однако в начальный момент времени, когда на вторичной стороне конденсатор только заряжается, на индуктивность рассеяния трансформатора приходится полное напряжение первичной стороны, из-за чего ток может выходить за пределы максимально допустимого значения.

В данной работе рассматривается система управления позволяющая уменьшить величину потерь в полупроводниковых элементах. Принцип управления заключается в «мягкой коммутации» транзисторов, когда значение тока, протекающего по обратным диодам близко к нулю, тогда потери на переключение транзистора также будут близки к нулю.

Литература

1. **B. Zhao, Q. Song, W. Liu and W. Sun**, “Current-Stress-Optimized Switching Strategy of Isolated Bidirectional DC–DC Converter With Dual-Phase-Shift Control,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 10, pp. 4458–4467, Oct. 2013.
2. **K. Meena, K. Jayaswal and D. K. Palwalia**, “Analysis of Dual Active Bridge Converter for Solid State Transformer Application using Single-Phase Shift Control Technique,” 2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Coimbatore, India, 2020, pp. 1–6.

Д.А. Осипов, асп.; рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В ОС GNU/LINUX

В устройстве современных комплексов дистанционной лучевой терапии множество электроприводных механических подсистем: лечебный стол, барабан гантри, подсистема механических перемещений на вращающейся части. Их объединение в одну систему управления производится с помощью промышленных сетей реального времени, например, EtherCAT и, как правило, при помощи зарубежных сред разработки и управления TwinCAT, Qdesys и др. В настоящее время у нас в стране стали актуальны свободно распространяемые программные средства.

Примером может служить модуль ядра серверной операционной системы GNU/Linux: IgH EtherCAT Master [1]. Однако ведение разработки программного обеспечения для таких систем, на которых нет графического интерфейса, с использованием исключительно командной строки, занимает долгое время в связи с трудоемкостью отладки. Для ускорения разработки предложено использовать графический интерфейс и среду разработки Visual Studio Code, развернутые прямо на сервере. Это позволяет эффективно производить разработку и использованием самой серверной ЭВМ, предоставляя разработчику удобные средства отладки разрабатываемого ПО, что затруднительно реализовать при подключении к серверу по SSH. Visual Studio Code автоматически генерирует файлы для реализации сборки проекта. При этом сборка может производиться либо средствами IDE, либо написанием скрипта самостоятельно.

С помощью описанных инструментов был реализован генератор траектории [2] как модуль приложения по управлению электроприводом, работающего под управлением операционной системы GNU/Linux. Он позволяет в реальном времени отслеживать изменения ограничений на координаты электропривода [3] и в соответствии с ними корректировать текущее задание на перемещение.

Литература

1. **Florian Pose.** IgH EtherCAT Master 1.5.2 Documentation, October 27, 2017.
2. **Осипов Д.А., Рассудов Л.Н.** Расчет тормозных траекторий следящего электропривода с учетом ограничений // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. XXIX междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга». 2023. С. 436.
3. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64. — EDN DDWHIM.

А.А. Корунец, студ.;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЯТИОСЕВОВОГО СТОЛА ПАЦИЕНТА ТОРОИДАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

На сегодняшний день в России используют зарубежные аппараты для лечения рака методом дистанционной лучевой терапии, при этом имеющееся оборудование не покрывает запрос в связи с большим процентом данного диагноза у населения. В нашей стране отсутствуют производства данного медицинского оборудования. При этом ведется разработка комплекса «Торус» [1], который смог бы стать аналогом зарубежных решений. Комплекс состоит из тороидального барабана с установленным оборудованием для лечения и стола пациента, который представляет интерес в данной работе. Перед началом лечения пациента необходимо уложить на стол и при помощи электроприводных механизмов произвести позиционирование в пяти степенях свободы: продольное, поперечное и вертикальное перемещение, а также тангаж и рысканье.

Настоящая работа посвящена исследованию электроприводных механизмов стола пациента для выбора электроприводов [2], систем измерения координат и разработки схем электропитания макетного образца изделия, а также его пусконаладке. Особенностью системы многоосевого стола является переменный момент инерции и кинематические передачи, необходимые для его перемещения в пяти степенях свободы и правильного позиционирования стола с пациентом относительно излучателя. На исследуемом объекте уже были установлены сервоприводы и дополнительные средства контроля положения, но в ходе проведенных исследований было выявлено, что требуемых характеристики движения достигнуть невозможно.

В работе было предложено заменить часть электрических машин, датчиков, оптимизировать число сервоусилителей электроприводных механизмов стола пациента. Были разработаны принципиальные схемы электропитания всех потребителей стола пациента и проведена пусконаладка. Результаты испытаний подтвердили корректность подобранных технических решений.

Литература

1. Антираковый корпус: «Росатом» и Минздрав разрабатывают план импортозамещения в ядерной медицине URL: <https://strana-rosatom.ru/2022/10/31/rosatom-i-minzdrav-razrabatyvajut/>
2. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64. — EDN DDWHIM.

В.А. Бастрыгин, студ.;
рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

С развитием промышленности требования к производительности токарных станков постоянно растут. В то же время, в текущей ситуации имеются проблемы с применением станков с числовым программным управлением, поэтому становятся актуальными станки с оперативной системой управления (ОСУ), в которых запрограммированы готовые циклы обработки деталей, оператору требуется только ввести нужные размеры. В рассматриваемой системе управления используется контроллер управления движением, который одновременно управляет преобразователем частоты, обеспечивающим вращение заготовки и сервоприводами, осуществляющими продольное и поперечное перемещение резца. Параметры нарезаемой резьбы заносятся в контроллер оператором с помощью человеко-машинного интерфейса.

Главной сложностью в разработке программы для ОСУ является обеспечение повторяемости циклов нарезания резьбы. Поскольку резьба на заготовке должна нарезаться за несколько проходов, то необходимо, чтобы в каждом проходе положение резца строго соответствовало определенному положению шпинделя. Соответственно возникает проблема синхронизации положения электроприводов шпинделя и резца.

Известные методы [1], разработанные для токарно-винторезных станков с ЧПУ не применимы для реализации на контроллере управления движением, т.к. не обеспечивают достаточно жесткой связи между положениями шпинделя и резца.

В докладе предлагается оригинальный алгоритм синхронизации движения шпинделя и продольного движения резца, который позволяет скорректировать известный метод с учетом особенностей работы контроллера управления движением. Основная идея, положенная в основу разработки алгоритма, заключается в том, чтобы обеспечить жесткую связь между положением шпинделя и положением резца посредством применения датчика положения на оси вращения шпинделя.

Литература

1. **Song Li, Oi Li, Yizong Lai.** “A New Algorithm for Thread Cutting Entrance”, ICACC 2011.

*И.В. Бондарев, студ.;
рук. Н.М. Кураев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ДЛЯ МАКЕТА ЛИФТА

Лифт является неотъемлемой частью инженерного оснащения жилых, административных зданий и сооружений. Он является самым массовым примером общепромышленного механизма на базе электропривода, не имеющего альтернативы. Лифтовой парк страны требует постоянного обновления. Всего в России только в жилом фонде в 2018 году насчитывалось порядка 440 000 лифтов, и более 30% из них уже выработали свой ресурс [1]. Современным специалистам, работающим с промышленными механизмами, очень важно иметь представление о таких устройствах, как лифтовые установки.

Для подкрепления теоретических знаний лабораторными исследованиями на кафедре Автоматизированного электропривода МЭИ для учебных и исследовательских целей разработан и установлен макет, наиболее приближенный к реальному лифту.

Настоящая работа посвящена разработке лабораторного практикума, который будет использоваться студентами при изучении курса «Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов».

Разработанный практикум включает в себя следующие лабораторные работы:

1. Редукторный электропривод лифтовой лебедки с двухскоростным асинхронным двигателем.
2. Асинхронный частотно-управляемый редукторный электропривод лифтовой лебедки.
3. Асинхронный частотно-управляемый безредукторный электропривод лифтовой лебедки.

Таким образом, студенты смогут применить и закрепить свои теоретические знания, полученные на лекциях, получить практические навыки работы с лифтовой установкой.

Литература

1. Лифты, платформы подъемные для инвалидов, эскалаторы. Ч. 1. Лифты: Учебник / Г.Г. Архангельский, Н.И. Балабанов, Л.В. Гушин, А.А. Ионов, А.А. Рожков, М.А. Степанов, В.Я. Ткаченко; под общ. ред. Л.В. Гушина. — М.: Изд-во АСВ, 2022. 680 с.

*Д. Камвела, А.А. Корунец, студенты;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ВХОДОВ И ВЫХОДОВ СЕРВОУСИЛИТЕЛЕЙ С ТОКОВЫМИ ПЕТЛЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЛЕКСА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

В настоящий момент ведется разработка комплекса «Торус» (ТКДЛТ) [1], предназначенного для лечения рака методом дистанционно-лучевой терапии. Комплекс состоит из множества подсистем, управляемых с помощью электроприводов. В качестве одной из дополнительных возможностей контроля их корректной работы предусмотрены две линии токовой петли безопасности, последовательно проходящие через подсистемы ТКДЛТ. В случае нештатной работы какая-то подсистема может разорвать токовую петлю. При этом все остальные подсистемы в токовой петле отслеживают наличие в ней токового сигнала и в случае его отсутствия должны обеспечить безопасность пациента.

В комплексе заложено множество электроприводных механизмов: вращающийся барабан с оборудованием для лечения, стол пациента с пятью степенями свободы и др. Но типовые сервоусилители, в т.ч. и заложенные в проекте HIWIN серии ED1F [2], не имеют возможности напрямую работать с токовыми петлями, что требует разработки переходного устройства.

Работа посвящена разработке такого устройства сопряжения сервоусилителя с токовыми петлями, которое бы позволило считывать сигналы линий безопасности на дискретных входах и разрывать линию безопасности с использованием цифровых выходов сервоусилителя HIWIN серии ED1F. Считывание должно производиться либо стандартными дискретными входами, либо дискретными входами с функцией STO. Дополнительно в разрабатываемое устройство требуется интегрировать и стабилизированные источники токового питания самих линий безопасности.

Литература

1. Антираковый корпус: «Росатом» и Минздрав разрабатывают план импортозамещения в ядерной медицине URL: <https://strana-rosatom.ru/2022/10/31/rosatom-i-minzdrav-razrabatyvajut/>
2. HIWIN user manual MD09UE01-2112_V2.2 URL: <https://device.report/manual/4495308>

*А.В. Табульдина, студ.;
рук. А.В. Кузнецова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКОЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОПЕРЧАТКИ

В настоящее время мир старается облегчить жизнь людям с ограниченными возможностями, однако некоторые проблемы все еще релевантны. Поэтому важной задачей становится разработка умных систем, которые смогут помочь инвалидам. Одними из таких систем являются инвалидные коляски разных видов.

В работе рассматривается система управления коляской с помощью нейроперчатки. В перчатку встроен беспроводной контроллер *Senso Glove*. Она состоит из четырех модулей: центральный, запястья, RF USB, пальцы. IMU-сенсоры обеспечивают высокую скорость обновления данных, позволяют рассчитывать точное положение рук в пространстве.

Принцип работы управления инвалидной коляской состоит в следующем. Оператор надевает перчатку и начинает делать определенные движения рукой в пространстве. Устройство считывает их и дает команду для коляски. С помощью команд руками можно будет начать движение, остановиться, повернуться, сбавить или увеличить скорость и другое. Также перчатки могут измерить пульс и давление, что очень важно для человека. Данная система управления коляской с нейроперчаткой имеет огромный потенциал для улучшения качества жизни людей с ограниченными возможностями, она обеспечивает более точное и естественное управление коляской, комфортное для пользователей.

Кроме того, использование нейроперчатки позволяет пользователям оставаться более активными и независимыми, а также способствует улучшению психологического состояния пользователей, поскольку они могут чувствовать себя более самостоятельными и свободными. Благодаря использованию передовых технологий, таких как IMU-сенсоры и беспроводной контроллер, система обеспечивает высокую точность и надежность управления коляской. Это значительно повышает безопасность пользователей и уменьшает риск возникновения непредвиденных ситуаций при передвижении.

В целом, система управления коляской с нейроперчаткой представляет собой важный шаг в обеспечении инклюзивности и равных возможностей для людей с ограниченными возможностями. Ее развитие и внедрение могут значительно улучшить качество жизни этой категории людей и способствовать их полноценной интеграции в общество [1].

Литература

1. **Хорошилова Л.С.** Технология социальной реабилитации отдельных категорий инвалидов: учебное пособие / Л.С. Хорошилова. — Кемерово : КемГУ, 2014.

*Е.С. Коровина, студ.; К.К. Ермаков, асп.;
рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ И УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

В цикле работы тяжелых карьерных самосвалов нередки случаи снижения либо потери сцепления ведущих колес с дорогой вследствие особенностей грунта и погодных условий, что приводит к потере управления [1]. Для таких автомобилей эта проблема особенно важна, поскольку не только тяга, но и торможение самосвала в большей части диапазона скорости движения реализуется с помощью тяговых электроприводов (ТЭП) ведущих колес.

Система управления ТЭП самосвала позволяет реализовать функции адаптивной системы антиблокировки и антипробуксовки ведущих колес [2]. Но для ее эффективной работы требуется информация о реальных значениях скорости и ускорении движения самосвала. Наиболее просто получить ее с помощью датчиков скорости передних (ведомых) колес. Такой способ прост, но имеет свои недостатки:

- датчики ведомых колес отсутствуют на серийно выпускаемых машинах, их установка сложна, а иногда просто невозможна;
- сцепление ведомых колес с дорогой также может снижаться, например, при использовании механической тормозной системы самосвала, что вносит ошибку в измерение реальной скорости.

Альтернатива датчикам скорости колес — инерциальная система измерения линейных ускорений и угловых скоростей движения. Такое устройство, реализуемое сейчас в виде интегральной микросхемы, существенно дешевле и проще в монтаже и обслуживании, но имеет меньшую точность и склонно к накоплению измерительных ошибок. Коррекция этих ошибок может выполняться с помощью датчиков скорости ведущих колес, которые всегда присутствуют в составе тяговых электроприводов самосвала. Для наиболее полной оценки эффективности системы планируются дополнительные исследования.

Литература

1. Электромеханическая трансмиссия карьерных самосвалов большой грузоподъемности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.vectorgroup.ru/usages/dumptrucks>, свободный (дата обращения: 10.10.2023).
2. Design and Experimental Validation of Dump Truck Active Safety System Algorithms [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.vectorgroup.ru/articles/ACED_2023_Dump_Truck_ASR, свободный (дата обращения: 10.10.2023).

Секция 26

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Industrial electric-thermal installations

Председатель секции: д.т.н., доцент Федин Максим Андреевич

Секретарь секции: к.т.н. Кулешов Алексей Олегович

*А.Д. Купцов, асп.; рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доцент
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАГРЕВА

Современное развитие промышленности требует использование и применение уникальных знаний. Многослойные тонкопленочные покрытия позволяют снизить затраты и повысить эффективность изделий за счет миниатюризации. Однако такие слои подвержены влиянию остаточных механических напряжений, снизить которые возможно технологическими методами. Одним из важных факторов, влияющим на остаточные напряжения в тонких пленках при их осаждении в вакууме, является температура подложки. Она играет существенную роль в формировании структуры и механических свойств пленок [1–3].

Целью работы является разработка универсального модуля контроля и управлению температурой подложки для снижения остаточных механических напряжений в тонкопленочных многослойных структурах.

Основным структурным элементом технологического универсального модуля автоматического нагрева (Т.У.М.А.Н.) является термоконтроллер, который по релейному закону с помощью ПИД-регулятора управляет заданной оператором температурой на резистивном нагревателе. Для минимальной разницы фактической и измеряемой температур используется точечная термопара типа К.

Разработка блока «Т.У.М.А.Н.» имеет высокую практическую значимость для исследования остаточных механических напряжений в тонкопленочных структурах. Экспериментальные исследования показывают благоприятные тенденции при осаждении монослоев проводящих и диэлектрических покрытий.

Литература

1. **Kobrinsky M. J. et al.** The thickness dependence of the flow stress of capped and uncapped polycrystalline Ag thin films // Applied physics letters. — 1998. — Т. 73. — №. 17. — С. 2429–2431.
2. **Ануфриев Л.П. и др.** Формирование пленок поликристаллического кремния для микро-электромеханических систем // Весті НАН Беларусі. Сер. фізэцхн. навук. — 2010. — №. 1.
3. **Шугуров А.Р.** Влияние кривизны границы раздела пленка/подложка на закономерности деформации и разрушения тонких металлических пленок и керамических покрытий при внешних воздействиях: автореф. — Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2016.

А.Ю. Соколов, соиск.;
рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

АНАЛИЗ СЛОЖНОГО ТЕПЛОБМЕНА В ВАННЕ МОЩНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛИ

Целью данной работы является исследование механизмов теплообмена электрических дуг в ванне высокоомощных дуговых сталеплавильных печей переменного тока (ДСП). В таких печах дуги заглублены в металл и шлак, энергия теплового излучения дуг поглощается поверхностями шаровых сегментов в жидкометаллической ванне и шлаке, от горячей поверхности сегментов тепло передается ванне теплопроводностью и конвекцией [1].

В работе выполнен анализ физического явления преобразования потока теплового излучения дуг в конвективный тепловой поток в ванне ДСП. При полном заглублении дуг в жидкометаллическую ванну и шлак все тепловое излучение дуг попадает на поверхности шаровых сегментов, формируемых в расплаве под действием осевых электродинамических сил. Перемещение дуг в шаровых сегментах под действием отклоняющих сил обеспечивает интенсивное перемешивание жидкого металла в ванне. Механизм данного явления следующий. Дуга, двигаясь в лунке со скоростью 30–100 м/с, выбрасывает жидкий металл и шлак к стенам, на поверхность ванны. Одновременно под действием гидростатической архимедовой подъемной силы новые слои жидкого металла и шлака поступают в шаровой сегмент и занимают место выброшенных слоев. Описанный процесс повторяется с частотой питающей сети и обеспечивает мощный турбулентный перенос металла и шлака, преобразование в шаровых сегментах потоков теплового излучения дуг в аналогичные по мощности конвективные тепловые потоки и потоки теплопроводности.

С увеличением слоя шлака растет количество шлака, участвующего в теплообмене за счет электродинамических сил дуг, в результате теплообмен шаровых сегментов с ванной интенсифицируется, КПД дуг возрастает [2].

Результаты анализа сложного теплообмена в ванне ДСП позволяют выбрать оптимальную высоту слоя шлака и рациональное расположение газокислородных горелок в рабочем пространстве электропечи, объясняют причину невысокого урара металла под дугами.

Литература

1. **Макаров А.Н., Соколов А.Ю.** Особенности теплообмена в ванне металла мощных дуговых печей для плавки стали // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. 28-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: НИУ «МЭИ», 2022.
2. **Макаров А.Н., Крупнов А.В., Соколов А.Ю.** Взаимосвязь электрического режима и теплообмена в высокоомощных дуговых сталеплавильных печах с учетом высоты шлака и запыленности атмосферы // Промышленная энергетика. 2023. № 2.

А.А. Горланов, асп.;
рук. А.Г. Бойцов, д.т.н., доцент (МАИ (НИУ), Москва)

ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ

Эффективным методом размерной обработки титановых и никелевых сплавов является электродуговая обработка (ЭДО) — относительно новый тип электроэрозионной обработки, в котором для удаления материала заготовки и достижения заданных требований к точности размеров, форме, взаимного расположения и качеству поверхностного слоя используется воздействие дуговых разрядов между электродом-инструментом и электродом-заготовкой. Как и при традиционной электроэрозионной обработке, электрод-инструмент не находится в прямом контакте с заготовкой, и отсутствует механическое силовое воздействие на нее. В межэлектродном зазоре формируется дуговая плазма с высокой плотностью энергии, позволяющая эффективно удалять материал заготовки.

ЭДО обладает преимуществами при обработке труднообрабатываемых материалов, имеющих высокие прочность, вязкость, твердость и жаростойкость, позволяякратно увеличить производительность по сравнению с традиционным фрезерованием лезвийным инструментом в 2 (для титановых сплавов) и 5 раз (для никелевых), а также уменьшить затраты на инструмент и технологическую оснастку. В настоящее время технологии электродуговой обработки применяются для черновой обработки деталей с обеспечением точности 12 квалитета. Они перспективны для изготовления деталей авиакосмической техники.

В докладе приведены результаты анализа современного состояния технологий ЭДО методы управления импульсной электрической дугой, рассмотрены области и опыт его применения.

Рассмотрены перспективы применения ЭДО для обработки типовых деталей газотурбинных двигателей и направления исследований и разработок, которые требуется выполнить для создания макета станка для ЭДО, в частности:

- адаптировать оборудование электродуговой сварки для электродугового фрезерования путем управления процессами зажигания и гашения дуги;
- выполнить отработку технологии обработки титановых и никелевых сплавов (определить технологические возможности метода по производительности и точности, выполнить расчеты и моделирование процесса для обработки типовых поверхностей и элементов).

*В.И. Волжанинов, студ.; рук. Д.О.Варламов, ст. преп.
(Московский Политех, Москва)*

ИНДУКЦИОННЫЙ СВАРОЧНЫЙ АППАРАТ

Индукционные сварочные аппараты представляют собой современное решение для процесса сварки, основанное на использовании принципа электромагнитной индукции. Важным аспектом в предлагаемом аппарате является возможность регулировки напряжения, тока и частоты в индукторе способствующих более подконтрольно и точно производить работы с различными материалами.

Электродуговая сварка имеет ряд недостатков, такие как: вред здоровью сварщика, потенциально опасное применение в людных местах с нанесением ущерба окружающим, трудность в получении навыков работы с оборудованием; Также, как и электродуговая сварка, газосварка потенциально опасный и тяжелый в освоении метод соединения металлов. В следствии чего предлагается решение в виде портативного индукционного сварочного аппарата. С помощью внедрения микропроцессорного управления появляется возможность внедрить несколько режимов работы для различных материалов. Индукционным аппаратом можно соединять также пластик и синтетические материалы, если у них в составе предусмотрены “приемники индуктивности”. При этом человеку не потребуются каких-либо средств защиты для глаз и на дыхательные органы, так как могут быть сведены к минимуму опасные факторы при использовании нелетучих соединений в при-судка и материалах.

Преимуществами и отличительными параметрами проектируемой установки являются следующие параметры: расчетная мощность аппарата 3 500 Ватт; рабочая частота индуктора до 20 кГц; внедрение системы микроконтроллерного управления на базе микроконтроллера Atmega 328, что позволит более точно производить начальные установки перед работой, учитывая особенности различных материалов; предустановленные режимы “глубинного” и “поверхностного” нагрева деталей с внутри аппаратными ограничениями; воздушная система охлаждения; система подачи припоя в область соединения материалов.

Литература

1. **Шамов А.Н., Лунин И.В., Иванов В.Н.** Высокочастотная сварка металлов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Политехника, 1991.
2. **Пейсахович В.А.** Оборудование для высокочастотной сварки металлов. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1988.

А.А. Перезябов, асп.;
рук. М.Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ

В настоящее время весьма актуальны технологические процессы выращивания монокристаллов. Это обусловлено технологическим развитием элементной базы в микроэлектронике и активным применением полупроводниковых элементов в электронике.

Значительная часть процессов роста монокристаллов предъявляет повышенные требования к точности регулирования температурного режима в рабочей камере установки (прецизионное управление). Большая часть действующих установок для роста кристаллов, расположенных на территории России, не способны обеспечить необходимую точность для проведения прецизионных технологических процессов. Это связано с применением устаревших устройств регулирования температурного режима, которые неплохо себя показывают в установках для отжига, отпуска и других процессов термической обработки, в которых допускается погрешность регулирования в несколько единиц градусов. Такие системы регулирования не предназначены для проведения прецизионных технологических процессов, о чем свидетельствует опыт эксплуатации установок с подобными системами регулирования.

В работе проводится сравнительный анализ вариантов технических решений систем прецизионного регулирования температуры в установках роста кристаллов и выбор на основе теоретических исследований и практического опыта эксплуатации установок метода регулирования температурного режима, обеспечивающего наилучшую точность.

Литература

1. Автоматическое управление электротермическими установками / Под ред. А.Д. Свенчанского. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 416 с.
2. **Рубцов В.П., Щербаков А.В.** Системы автоматического управления электрическими печами сопротивления. — М.: Изд-во МЭИ, 2015. — 56 с.
3. **Волович Г.** Драйверы силовых ключей // Современная электроника. 2007. № 8. С. 32–41.

*К.В. Северин, А.И. Василенко, студенты; А.В. Молостова, асп.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА КАК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) представляют собой сложные технологические установки, являющиеся важной частью объектов топливно-энергетического комплекса. Своей надежностью, эффективностью и экономичностью они зарекомендовали себя в качестве незаменимой составляющей в системах транспорта и хранения нефти и газа. ИРСН, как правило, представляют собой мощную однофазную нагрузку (до 200–250 кВт) промышленной частоты. Для проектирования системы электропитания ИРСН необходимо получение её вольт-амперной характеристики (ВАХ) и схемы замещения, т.е. исследование ИРСН как электронагрузки.

ИРСН как электронагрузка может быть представлена в виде двух последовательно соединенных нелинейных активного сопротивления и индуктивности. Активное и индуктивное сопротивления зависят от температуры и тока индукционно-резистивного проводника 2, покрытого слоем электроизоляции 3, которые для реальных систем обогрева изменяются в широких пределах: температура от – 40 до 200 °С, ток 40–50 А. Авторами была разработана математическая модель с использованием итерационной методики, основанной на электрической схеме замещения, учитывающей выделение мощности за счет джоулева тепла, а также потери на перемагничивание стали в индукционно-резистивном нагревателе (ИРН) 1, обладающим ферромагнитными свойствами. Математическая модель реализована в виде запатентованной компьютерной программы IRSN PRO.

Были получены ВАХ для ИРСН с различными трубами, используемыми в качестве ИРН, которые были проверены экспериментально. Данные характеристики имеют нелинейный характер, что необходимо учитывать при разработке источника электропитания ИРСН.

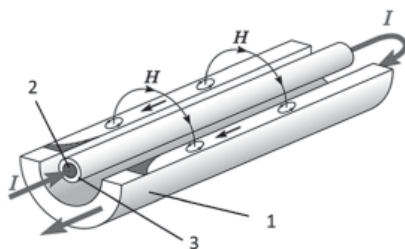


Рис. 1. Индукционно-резистивная система нагрева

Ф.Р. Сулейманов, асп.; рук-ли М.А. Федин, д.т.н., проф.,
А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф., С.С. Кондрашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА И ОПЛАВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК С УЧЕТОМ ЗАКАЛКИ

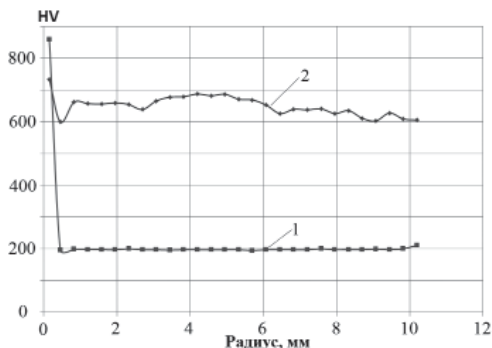


Рис. 1. Значения твердости от поверхности покрытия к центру заготовки: до закалки (1), после закалки (2)

Разработана электротехнологическая установка для оплавления нанесенных покрытий на поверхность цилиндрических стальных заготовок и технология оплавления коррозионно-стойкого покрытия при индукционном нагреве стальной цилиндрической заготовки с указанным покрытием в условиях вращения.

Выбрана частота тока и другие параметры индукционной установки повышенной частоты для обеспечения максимального тепловыделения в коррозионно-стойком покрытии при его

оплавлении на поверхности стальной цилиндрической заготовки [1].

Проведены расчеты и исследования поверхностных распределений плотности тока и температуры по длине заготовки при индукционном нагреве.

Выполнены расчетные и экспериментальные исследования индукционного нагрева, теплового состояния стальной заготовки с покрытием и распределений твердости по радиусу заготовки с учетом и без закалки (рис. 1).

Проведено сравнение расчетной и экспериментальной кривых нагрева поверхности стальной заготовки с покрытием с учетом двух точек Кюри. На основании проведенных экспериментальных исследований получены улучшенные свойства и структура коррозионно-стойких покрытий на стальных заготовках после оплавления с использованием разработанного технологического процесса [1].

Литература

1. Федин М.А., Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р., Кондрашов С.С. Федина С.А., Жмурко И.Е. Выбор параметров индукционного нагрева для оплавления нанесенных защитных покрытий стальных деталей // Промышленная энергетика. 2023. № 7. С. 13–21.

*А.В. Данченко, асп., В.А. Новичихин, студ.;
рук-ли А.Р. Лепешкин, д.т.н., доц., М.А. Федин, д.т.н., доц.,
С.С. Кондрашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАГРЕВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

В промышленности широко используется как индукционный нагрев, так и другие виды электронагрева для обеспечения заданных температурных режимов деталей, изделий и заготовок в различных технологических процессах. Индукционный нагрев для моделирования и обеспечения тепловых режимов дисков турбин газотурбинных двигателей и установок широко применяется в авиационной промышленности и энергетике [1]. Установки индукционного нагрева отличаются высокой стоимостью и требуют дополнительного оборудования по их электроснабжению. В связи с этим, актуальна разработка новых методов нагрева, которые снижают материальные затраты и позволяют экономить электроэнергию, в том числе, и разработка нового метода нагрева с применением сильных постоянных магнитов.

На кафедре ЭППЭ разработана электротехнологическая установка для нагрева вращающихся дисков в электромагнитном поле постоянных магнитов. Электротехнологическая установка состоит из двух крепежных кубических рам, вращающегося диска, постоянных магнитов, измерительной тепловизионной аппаратуры, датчика частоты вращения и лабораторного автотрансформатора для регулирования частоты вращения электродвигателя. На первой крепежной раме установлен электродвигатель переменного тока, имеющий номинальную частоту вращения 12 000 об/мин и датчик частоты вращения. На валу электродвигателя закреплен диск с помощью разработанного специального переходника. На второй крепежной раме установлены сильные постоянные магниты (из сплава неодим-железобор) с теплозащитными покрытиями. Между поверхностью диска и постоянными магнитами устанавливались разные зазоры.

На разработанной установке с использованием тепловизора проведены исследования нагрева диска (из нержавеющей стали), вращающегося на разных частотах вращения в электромагнитном поле постоянных магнитов.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. — М.: Инфра-М, 2019.

*В.О. Чубарова, асп.; рук-ли М.А. Федин, д.т.н., проф.,
А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА И ОПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ

Аддитивное производство получает все большее распространение и в последние годы развивается очень быстро. Для обработки металлов в качестве сырья обычно используют порошок или проволоку. Источником энергии, используемым в проволочных процессах, обычно являются электронный луч, лазеры или электрические разряды (например, дуги). В данной работе используется технологический подход к аддитивному производству металлических конструкций методом индукционной плавки с изменяющейся мощностью генератора. В предложенной технологии IDMF (Induction Direct Metal Fabrication) непрерывно подаваемая стальная проволока плавится в индукторе и по каплям наносится на подложку, нагретую до различных температур предварительного нагрева с использованием дополнительного индуктора [1].

В данной технологии проволока непрерывно подается через кольцеобразный индуктор (рис. 1), который выполняет задачу нагрева проволоки, заставляя капли плавиться и отделяться от ее конца. Дополнительный индуктор нагревает подложку снизу (обеспечивает предварительный нагрев), чтобы расплавленные капли соединились с подложкой, а не просто размещались на ее поверхности.

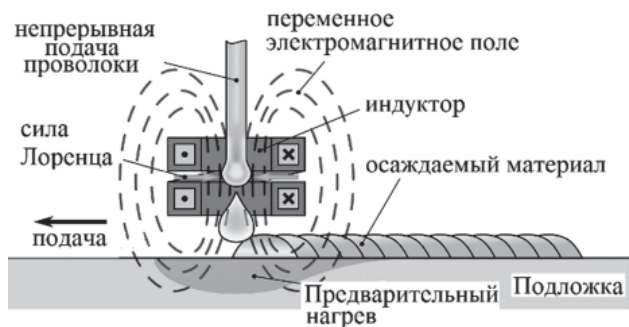


Рис. 1. Принцип аддитивной технологии с использованием индукционного нагрева и оплавления металлической проволоки

Литература

1. **Федин М.А., Чубарова В.О.** Метод аддитивного формообразования, основанный на индукционном выращивании изделий из металла // Федоровские чтения-2019: XLIX Междунар. научно-практическая конф. — [Электронный ресурс] М.: Издательский дом МЭИ, 2019. — С. 59–62.

*А.Ю. Гераскин, асп., И.Ю. Гераскина, соиск.,
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОНЦЕПЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМАХ ОБОГРЕВА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ САМОРЕГУЛИРУЮЩИХ КАБЕЛЕЙ

Саморегулирующие кабели могут изменять свои рабочие характеристики в зависимости от окружающей среды благодаря свойствам особой полупроводниковой матрицы, составляющей физическую основу кабеля.

Главной характеристикой греющего кабеля является удельная мощность, определяющая уровень потребления электроэнергии, а значит и рентабельность применения устройства.

Система дистанционного мониторинга параметров работы распределительной сети с использованием акустических пьезодатчиков подразумевает возможности контроля температуры среды и соответственно — выделяемой мощности греющего кабеля, а также падения напряжения в конце линии при номинальном питающем напряжении. Дополнительно существует возможность измерения таких параметров, как давление среды и уровень шума, что может позволить своевременно обнаружить неисправность или утечку.

Для реализации проекта потребуется цепь пьезодатчиков, GSM/GPRS модем с антенной, аккумулятор и набор низковольтных кабелей. Для обеспечения энергонезависимости системы необходимо предусмотреть устройство панелей солнечных батарей с контроллером заряда аккумулятора. На рис. 1 представлен фрагмент водопроводной сети со смонтированным пьезодатчиком.

Для систематизации, хранения, обработки и визуализации данных, получаемых от датчиков, необходимо разработать программно-аналитический комплекс, состоящий из приемного GSM/GPRS модема и рабочего места с соответствующим программным обеспечением.



Рис. 1. Система мониторинга температуры на трубопроводе

И.А. Чайкин, студ.; рук. А.О. Кулешов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕСА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

В поточных технологических линиях термической обработки стальных изделий необходимо точно измерять массу детали, загружаемой в печь. Это необходимо для настройки регулятора температуры и оценки потребления электрической энергии технологическим процессом [1]. Измерители веса бывают динамическими и статическими. Также, они подразделяются в зависимости от технологической линии и её особенностей (например, невозможность остановки конвейера и т.д.).

Предполагаемое устройство измеряет массу слитка во время его кратковременной остановки на технологической линии рис. 1 [2].

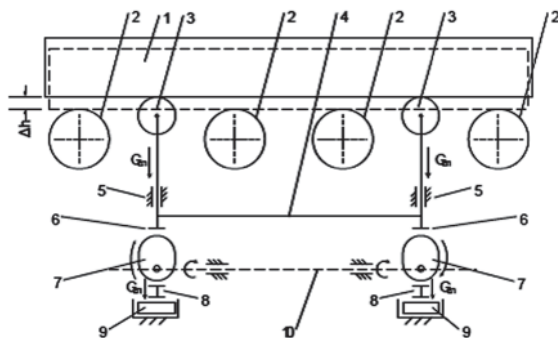


Рис. 1. Схема устройства весоизмерителя: измеряемый слиток 1, приводные ролики транспортера 2, весоизмерительные ролики 3, механическая связь ползунов 4, направляющие ползунов с подшипниками 5, ползуны 6, эксцентрические кулачки 7, бобышки 8, тензодатчики 9, ось привода кулачков эксцентриков 10

Применение устройства весоизмерения позволила изменить алгоритм программы контроллера, тем самым ускорить период настройки программы технолога с целью оптимального электропотребления зоной нагрева. Разрабатываемая система управления позволит производить прецизионную термообработку стальных заготовок и прогнозировать энергопотребление технологической линии с учетом изменения марок стали и размеров обрабатываемых изделий.

Литература

1. **Бесекерский, В.А.** Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е. П. Попов. — М.: Наука 1975. — 768 с.
2. Устройство для взвешивания массивных слитков в технологической линии RU 2 079 116 С1 Фомин Н.А. Веревкин В.И. Буторин В.К. Кошелев А.Е.

*М.Л. Зотов, Д.А. Жгутов, студенты;
А.В. Молостова, С.А. Федина, аспиранты;
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц., Е.В. Качалина, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНОМ СИММЕТРИРУЮЩЕМ ТРАНСФОРМАТОРЕ ДЛЯ ИНДУКЦИОННО- РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА

Индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) находят широкое применения для электрообогрева протяженных промышленных нефтегазовых трубопроводов. Мощности современных ИРСН в настоящее время могут достигать сотен киловатт, поэтому в системе электроснабжения таких устройств электрообогрева необходимо предусмотреть симметрирование нагрузки.

Для обеспечения симметрирования однофазных нагрузок по отношению к трехфазному источнику питания авторами были рассчитаны параметры ИРСН. В статье проведено исследование электромагнитных процессов в электромагнитном преобразователе числа фаз, соединенного с использованием схемы трансформатора Скотта. Получена математическая модель предложенного симметрирующего трансформатора, реализованная в виде имитационной модели в пакете MATLAB/Simulink, и произведен расчёт его рабочих характеристик (рис.1) при включении и отключении нагрузки. Составлен энергетический баланс симметрирующего трансформатора по схеме Скотта для питания однофазной нагрузки, произведен расчет электрического КПД.

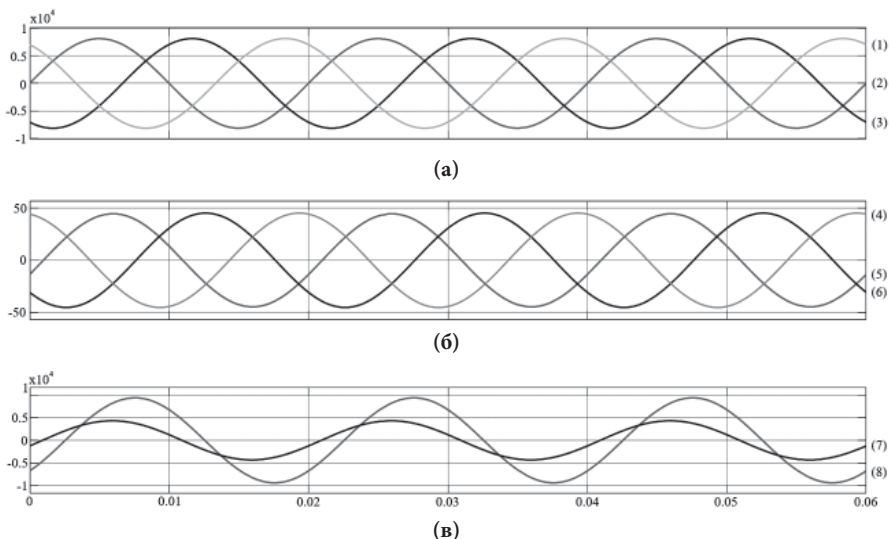


Рис. 1. Временные диаграммы трёхфазной системы напряжений (а) и токов (б) стороны ВН, а также напряжения и тока нагрузки (в)

*А.И. Василенко, К.В. Северин, студенты;
А.Ю. Гераскин, асп.;*
*рук-ли М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
В.А. Калинин, технический директор (ООО «SAIGIVAT»)*

СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГРЕВА С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ ТЕРМОКОНТРОЛЕМ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ

Установки электрообогрева большой длины или площади требуют системы распределённого термоконтроля. Система электрического обогрева с распределённым термоконтролем на основе пьезорезонансных датчиков представляет инновационное решение для эффективного и точного контроля температуры в различных областях. Датчики обладают уникальными характеристиками, такими как широкий диапазон рабочих температур, высокая точность и возможность определения целостности греющей линии, что обеспечивает значительные преимущества для систем, требующих точного измерения температуры в экстремальных условиях. Основой таких датчиков является кварцевый кристалл, резонансная частота которого определяется температурой среды, в которой находится датчик [1].

Автоматический контроль температуры протяженных объектов осуществляется путем использования радиосигналов низкой частоты, которые передаются гирлянде датчиков, установленных на объекте. Эти датчики подключены к шлиту питания и управления, который последовательно формирует и отправляет радиосигналы низкой частоты в диапазоне 30...45 кГц по двухпроводной линии (рис. 1).

Предлагаемая система реализуется последовательным (рис. 1, вариант А) или параллельным (рис. 1, вариант Б) соединением датчиков и позволяет контролировать температурный профиль объектов большой протяжённости или площади (длиной до 4000 м) в диапазоне температур от -60 до +300 °С.



Рис. 1. Система электрического обогрева на основе пьезорезонансных датчиков

Литература

1. В.В. Малов // Пьезорезонансные датчики. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 272 с.

*С.И. Скрипниченко, студ.;
рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДСП-6 С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Разработка модели ДСП-6: с адаптивной системой управления будет производиться в несколько этапов. Построение модели осуществляется в программном пакете MatLab Simulink. Первый этап построения модели будет включать в себя создание упрощенной модели дуговой трехфазной установки с линейно изменяющимся сопротивлением дуги, а также неизменными активными и индуктивными сопротивлениями короткой сети. Создание адаптивной системы управления по значению рассогласования сопротивления дуги. Третий этап, усложнение модели дуги с добавлением взаимных индуктивностей короткой сети и нелинейно меняющееся сопротивление.

После отладки модели, на основе проведенных на ней опытов, будет корректироваться реальная система управления ДСП-6. Так же на начальном этапе создания модели задаем номинальные значения трансформатора и рассчитываем недостающие значения. Задаем параметры короткой сети исходя из данных представленных в [1]. В модели будет реализовано зажигание дуги, выход из режима эксплуатационного короткого замыкания, поддержка заданного тока. Рассматриваемая ДСП-6 находится на Калужском турбинном заводе. Работа представляет практический интерес для модернизации установки.

Задачи, решаемые при создании модели: 1. Упрощение разработки системы управления для реального объекта, а также с последующими изменениями данная основа модели с адаптивной системой управления может использоваться и для других дуговых сталеплавильных установок. 2. Создание и отладка алгоритма управления на модели печи как с учетом взаимных индуктивностей, так и без учета. 3. Подбор релейно-линейной характеристики регулирования по рассогласованию сопротивления дуг.

Литература

1. Данцис Я.Б., Кацевич Л.С., Жилов Г.М. и др. / 2-е изд., перераб. и доп. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. — М: Металлургия, 1987 г. 320 с.
2. Марков Н.А. Электрические печи и режимы электропечных установок. М., «Энергия», 1975 г. 240 с.

*А.А. Ушаков, М.Л. Зотов, студенты;
рук-ли А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф., М.А. Федин, д.т.н. проф.,
С.С. Кондрашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ С КОАКСИАЛЬНЫМ КАБЕЛЕМ

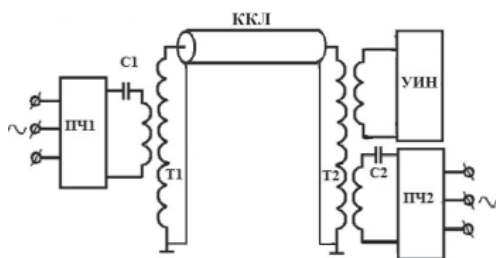


Рис. 1. Электротехнологическая система повышенной частоты с использованием коаксиального кабеля

недостатков: крупные потери электроэнергии в проводах, частые короткие замыкания проводов, большое потребление цветных металлов. С целью решения данной проблемы возможно применить одноцепную электротехнологическую систему передачи электроэнергии повышенной частоты (рис. 1). Для этого необходимо поменять воздушные линии на кабельные коаксиальные линии (ККЛ) повышенной частоты тока [1] и сформировать линии электропередачи с невысокими потерями. При этом снижаются материальные затраты на электротехническое оборудование и трансформаторы (значительно уменьшаются их габариты).

Электротехнологическая система повышенной частоты с использованием ККЛ (рис. 1) состоит из: источника электрической энергии, передающего преобразователя частоты ПЧ1, трансформатора Т1, высоковольтной ККЛ, трансформатор Т2, приёмный преобразователь частоты ПЧ2, к которому присоединяется одно-или трёх фазная нагрузка и к Т2 подключаются устройства индукционного нагрева (УИН) с индукторами [1] и другие устройства. Таким образом, система (рис. 1) включает в себя сеть питания малых потребителей на промышленной частоте и сеть для питания устройств (УИН с индукторами и др. устройства), работающих на повышенной частоте.

Литература

1. Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р. Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. — М.: Инфра-М, 2023. 273 с.

*А.И. Василенко, студ. (НИУ «МЭИ»), Г.А. Загвоздкин,
И.В. Сидорин, А.Г. Смоляр, учащиеся (ГБОУ «Школа № 1373»),
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
В.В. Крылов, учитель (ГБОУ «Школа № 1373»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Для современных систем электрообогрева необходима цифровая система измерения пространственного распределения температуры. Перспективным решением является система измерения дискретного пространственного распределения температуры от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, предназначенная для контроля и измерения, сбора и передачи пользователю информации о распределении температуры, путем опроса по экранированной двухпроводной линии конечного набора пассивных высокочастотных пьезокварцевых резонансно частотных датчиков температуры (ПКРЧД), выполненных в виде гильз и соединенных электрически параллельно (по типу гирлянды).

Вычислительные устройства (программируемый логический контролер WirenBoard и микроконтроллер LGT8F328P-LQFP32 MiniEVB), входящие в состав шкафа управления гирляндой ПКРЧД (рис. 1), реализуют программные подсистемы синхронизации, коммуникации, обработки данных, управления и контроля, интеграции. Каждая из подсистем работает под управлением операционной системы с открытым исходным кодом Linux, что обеспечивает достаточную гибкость системы и точную калибровку всех данных в процессе информационного обмена.

Использование ПКРЧД позволяет осуществлять точное измерение температуры на основе связи резонансной частоты кварцевого кристалла и температуры среды, в которой находится датчик. Для использования ПКРЧД в качестве датчика температуры было произведено экспериментальное определение его градуировочной характеристики. Для учёта нелинейности градуировочной характеристики производилось определение значений резонансной частоты для трех различных температур в диапазоне от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, по которым строилась аппроксимирующая зависимость в виде полинома второй степени.

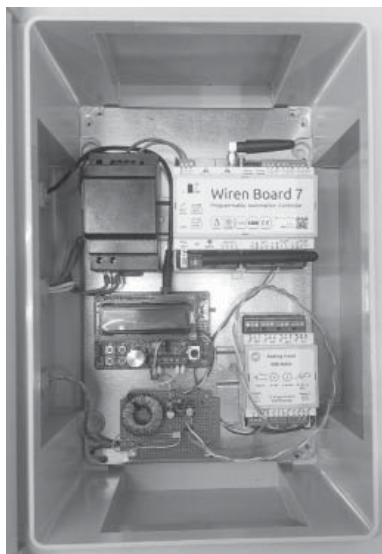


Рис. 1. Шкаф управления гирляндой пьезорезонансных датчиков

Секция 27

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Electric vehicles

Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Глушенков Владимир Александрович

Секретарь секции: Саможей Ольга Станиславовна

М.С. Горбунов, асп.; рук. В.А. Глушенков, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ТЯГОВУЮ СЕТЬ

Современные технологии накопления энергии уже настолько развиты, что позволяют сохранять достаточный запас энергии для обеспечения непрерывного движения электрических транспортных средств с использованием исходных параметров, аналогичных тем, которые применяются при движении от сети электропитания.

В Москве на Краснопресненской трамвайной линии в настоящее время используются современные модели трамваев: 71-931М «Витязь-М» и 71-911ЕМ «Львенок». Все вагоны данных моделей оборудованы накопителями энергии. На вагонах «Витязь-М» установлены два накопителя, подключенные к 1 и 3-й тележкам, а на модели «Львенок» установлен один накопитель, подключенный к задней тележке. Они применяются для работы двигателей в начальном этапе движения вагонов. После этого питание переключается на контактную сеть. Также, аккумуляторы полностью функционируют в случае крупного падения напряжения в контактной сети. Заряд накопителей осуществляется при торможении трамвая (энергия рекуперации) и при стоянке на остановке с использованием контактной сети.

За счет комбинированных накопителей энергии трамвай способен перемещаться полностью в автономном режиме. Максимальная дистанция, которую можно пройти в автономном режиме, составляет до 4 километров при полном соблюдении всех заданных параметров движения.

Использование комбинированных ионисторных накопителей имеет потенциал для существенного снижения нагрузки на тяговую сеть и уменьшения пусковых токов, которые негативно влияют на функционирование оборудования тяговых подстанций. При этом, такое решение также способно привести к уменьшению общей нагрузки на тяговую сеть.

Литература

1. **Слепцов М.А.** Основы электрического транспорта: учебник для студ. О-75 высш. учеб. заведений / [М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др.] ; под общ. ред. М.А. Слепцова. — М.: Издательский центр «Академия», 2006.

В.С. Гертель, асп.;
рук. С.А. Харитонов, д.т.н., проф. (НГТУ, Новосибирск)

ПРОБЛЕМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В общемировом процессе перехода на использование возобновляемых источников энергии и электротранспорта актуальной задачей является разработка и производство эффективных накопителей электрической энергии на основе литий-ионных аккумуляторов. Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на ресурс и энергоэффективность ЛИА является их эксплуатация в условиях низких температур [1, 2] поэтому поиск и исследование методов, способствующих практическому решению указанной задачи имеет высокую востребованность.

Наибольший интерес среди перспективных методов термостатирования литий-ионных аккумуляторов представляет метод на основе диссипативного внутреннего нагрева переменных токком [3].

Метод исследования по данному способу внутреннего нагрева заключается в математическом моделировании влияния переменного тока на физические и электрохимические свойства литий-ионных аккумуляторов при различных рабочих состояниях и построение зависимостей ключевых факторов.

Результатом данного исследования является определение эффективного способа регулирования и его оптимальных параметров для создания адаптивного алгоритма управления системой термостатирования на основе данного способа и возможности его практической реализации.

Полученные в процессе исследования данные имеют высокую практическую значимость для построения различных технических решений по накоплению электрической энергии в условиях низких температур, выходящих за пределы допустимой эксплуатации литий-ионных аккумуляторов.

Литература

1. **Luo, H.; Wang, Y.; Feng, Y.-H.; Fan, X.-Y.; Han, X.; Wang, P.-F.** Lithium-Ion Batteries under Low-Temperature Environment: Challenges and Prospects // *Journal of Materials*. — 2022. — Vol. 15. — № 22.
2. **J. Jagemont and J. Van Mierlo.** A comprehensive review of future thermal management systems for battery-electrified vehicles // *Journal of Energy Storage*. — 2020. — Vol. 31.
3. **S.-H. Ha et al.** Frequency-Variable Resonant Self-Heating Technique for Lithium-Ion Batteries at Low Temperature // *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. — 2022. — vol. 58, — № 4. — P. 3399–3410.

Т.И. Латыпов, студ.;
рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЗАРЯДНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ

Наблюдающаяся тенденция развития наземного городского электротранспорта, его инфраструктуры и системы электроснабжения требует решения многих сложных технических задач. Для трамвайного хозяйства, например, актуальны вопросы модернизации подвижного состава, тяговой сети и подстанций. Для метрополитена — первоочередными являются задачи реконструкции депо и строительства новых линий и станций.

Говоря о развитии электробусного парка в столичном регионе, стоит отметить, что с внесением изменений в конструкцию подвижного состава, новые серийные электробусы, имеющие большой запас хода за счёт увеличения ёмкости аккумуляторных батарей, представляют большой интерес. В связи с этим планируется увеличение численности этого вида транспорта в два раза в ближайший год.

Прогнозируемое увеличение электробусного парка обнажит существующие проблемы, связанные с организацией зарядной инфраструктуры, способами заряда, подключением зарядных станций, установлением нормируемых параметров, предъявляемых к зарядному комплексу. Стоит отметить еще одну техническую задачу в области развития электробусного парка: интеграция зарядных комплексов в существующие инфраструктурные объекты, уже завершённые в своем строительстве, характеризуется ограниченным объемом свободной электрической мощности. Ограниченная величина электрической мощности не позволяет удовлетворить все потребности зарядных станций при их номинальном потреблении электрической мощности.

Для решения перечисленных задач предлагается провести полный анализ текущего состояния распределительных сетей, анализ состояния зарядных станций, с учетом развития данного комплекса в ближайшей перспективе. По результатам проводимого анализа будут представлены рекомендации по встраиванию зарядных станций для электробусов в существующие узлы электрической сети. Также предполагается разработка типового подключения зарядной станции к существующим узлам распределительной сети.

Литература

1. **О. Бодня**, Информационный сборник «Российский общественный транспорт и городская мобильность» — 2023. — С. 47–546.

Д.С. Вислогузов, студ.;
рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НОВОЙ ТРАМВАЙНОЙ ЛИНИИ

Нормальное жизнеобеспечение современного города, особенно мегаполиса, невозможно без удобных и надежных транспортных связей. Уровень развития городского пассажирского транспорта, разветвленность и плотность транспортной и маршрутной сети в городе, интервал и скорость движения транспорта определяют время, затрачиваемое жителями города на свои поездки. При этом городской пассажирский транспорт, такой как трамвай, имеет наибольшее значение для жизнедеятельности крупных городов, способствуя снижению пробок на дорогах и уменьшению затрат времени на передвижение, которое, в свою очередь, влияет на транспортную усталость населения, а соответственно на производительность и качество их труда.

Современные технологии развиваются таким образом, что уже в ближайшем будущем весь транспорт, в том числе и трамвай, будет управляться с использованием искусственного интеллекта. С внедрением системы активной безопасности и помощи водителю спрос на поездки в трамваях только возрастёт. Поэтому прогнозируется дальнейшее развитие трамвайной сети, благодаря чему предполагается рост экономики: новые линии могут стимулировать строительство и развитие жилых и коммерческих объектов вдоль своего маршрута, что создаст новые рабочие места и улучшит экономическую активность в регионе.

В связи с вышеописанной тенденцией развития трамвайной сети, необходимо совершенствовать и оптимизировать нынешние трамвайные маршруты, улучшая транспортную доступность в районах, где ранее существовали проблемы с пассажирским сообщением, а также предлагать новые варианты развития трамвайного движения.

Расчет новой линии включает в себя определение оптимального маршрута, оценку пассажиропотока, анализ влияния на окружающую среду, а также нахождение оптимальных решений с точки зрения первоначальных затрат и эксплуатационных расходов при соблюдении общих требований надежности и безопасности.

Литература

1. **Ю.И. Аверьянов, Х.М.А. Асфур, Н.С. Голеньев**, Исследование интенсивности движения городского пассажирского транспорта через остановочные пункты // Международный журнал перспективных исследований — 2021. — С. 45–56.

В.С. Шлапов, студ.;
рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ УЧАСТКА КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО МАРШРУТА ГЭТ

Пассажирский транспорт общего пользования обеспечивает около 85% поездок населения в городском и пригородном сообщении, являясь важной составной частью городской инфраструктуры. Однако, все же отмечается некое стремление жителей к индивидуальным поездкам.

Анализ системы транспортного сообщения показал, что существуют определенные причины такой тенденции, среди них:

- отставание развития общественного пассажирского транспорта от имеющихся потребностей;
- малая привлекательность общественного транспорта для населения;
- низкое развитие внеуличного скоростного пассажирского транспорта;
- недостаточная поддержка проектов развития общественного пассажирского транспорта;
- транспортные заторы.

Решить данные вопросы поможет грамотное развитие системы городского электрического транспорта (ГЭТ), включающая в себя в том числе проведение модернизации маршрутов, удовлетворяющих потребностям населения.

В настоящей работе предлагается рассмотреть перспективы внедрения нового маршрута ГЭТ, а также привести технико-экономическое обоснование этого решения. Расчет участка контактной сети позволит определить оптимальную конфигурацию и параметры сети, требуемые для обеспечения бесперебойного энергоснабжения транспорта.

Полученные результаты будут основой для проектирования и строительства перспективной системы ГЭТ. Создание новых маршрутов улучшит доступность и связь между различными районами города, снизит транспортную загруженность. Электрический расчет участка контактной сети позволит оптимизировать использование электроэнергии, снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию системы электроснабжения, повысит надежность работы транспортных средств, что необходимо для создания устойчивой и конкурентоспособной системы городского электрического транспорта.

Литература

1. А.Н. Марикин, А.П. Самонин, В.Г. Жемчугов Способы усиления тягового электроснабжения постоянного тока при интенсивном движении поездов // Техника и технологии — 2003. — С. 123–127.

Е.А. Городецкий, студ.;
рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МОЩНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ

В мировом машиностроении в настоящее время намечается тенденция постепенного смещения интереса ведущих автопроизводителей и потребителей от автомобилей с традиционными двигателями к автомобилям, использующим в составе силовой установки двигатели на альтернативных источниках энергии, в частности, электромобили.

Термин «электромобиль» подразумевает транспортное средство, приводимое в движение за счет электродвигателя, питающегося от автономного источника электроэнергии. Повсеместное распространение электромобилей ограничивается, в первую очередь, низкой дальностью пробега на одном заряде.

Для решения данной проблемы существует два принципиальных пути: совершенствовать параметры аккумуляторных батарей, устанавливаемых на транспортном средстве, в том числе оптимизировать систему управления аккумуляторными батареями, либо заниматься развитием сети зарядных станций и инфраструктуры для электромобилей.

Прогнозируется, что при повсеместном распространении электромобилей произойдет рост энергопотребления на 6,8% уже к 2040 году или 1350 дополнительных ТВт*ч, необходимых для зарядки электромобилей. Поэтому актуальным становится решение второй задачи по определению уровня необходимой мощности, подводимой к зарядной станции. Для понимания оптимальных мощностных характеристик зарядной станции требуется учет нескольких факторов, включающих ёмкость аккумулятора, скорость зарядки, доступность электросети и стоимость электроэнергии. Балансирование этих факторов поможет определить оптимальную мощность для зарядной станции, удовлетворяющую требованиям пользователей и обеспечивающую эффективную зарядку электромобилей.

Определение оптимальных мощностных характеристик зарядной станции позволит улучшить процесс заряда электромобилей, сократить время заряда и повысить удобство использования. Также положительным эффектом будет являться уменьшение нагрузки на энергосистему, повышение энергоэффективности, и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Литература

1. Д. Хитрых, Энергетическая политика — 2021. — С. 22–33.

Д.С. Яценко, студ.;
рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УСИЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНОГО ТРАМВАЯ

Увеличение численности населения и растущее количество городов-многомиллионников предполагает масштабное развитие метрополитена. Но одной подземкой тотальной транспортной доступности не добиться. На помощь приходят новые проекты, в частности, новый вид транспорта — скоростной трамвай. Скоростной трамвай — это современная транспортная система, обеспечивающая высокую безопасность и скорость движения вагонов (до 80 км/ч) благодаря обустройству трамвайной линии и подвижного состава по специальной технологии.

Скоростные трамваи сделают перемещение по городу гораздо более удобным. Этот вид наземного транспорта объединяет в себе лучшие качества как метрополитена, так и автобусов: высокая скорость перевозки, удобство передвижения, точный график движения. При очевидных преимуществах имеются и недостатки: необходимость строительства обособленного полотна, увеличивающего ширину городских магистралей, а также увеличение нагрузки на систему электроснабжения.

Увеличение веса, скорости и интенсивности движения трамваев потребует произвести усиление действующей системы тягового электроснабжения. Наиболее простым и надежным способом для этого является подвеска усиливающих проводов. Данный способ имеет преимущество, так как позволяет повысить уровень напряжения у токоприемников трамвая и кпд системы.

Другим способом является применение управляемых выпрямителей с функцией стабилизации напряжения на шинах тяговых подстанций. Данный метод позволит поднять среднее и минимальное напряжение у токоприемников трамвая и снизить потери электроэнергии.

Для решения вопроса о выборе способа усиления системы тягового электроснабжения предлагается выполнить электрический расчет заданного участка движения скоростного трамвая. После определения основных нагрузочных характеристик будут определены необходимые мероприятия.

Литература

1. **А.Н. Марикин, А.П. Самонин, В.Г. Жемчугов** Способы усиления тягового электроснабжения постоянного тока при интенсивном движении поездов // *Техника и технологии* — 2003. — С. 123–127.

П.К. Песков, студ.;
рук. Ю.В. Рашек, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МАНЕВРОВЫЙ ТЯГОВЫЙ МОДУЛЬ НА БАЗЕ МОТОРНОЙ ТЕЛЕЖКИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

В настоящее время для маневровых перемещений электропоездов в моторвагонных депо используются маневровые локомотивы либо сцепки вагонов (моторвагонные секции). Это приводит к загрязнению рельсошпальной решетки маслами, продуктами, стекающими с тепловоза, большому расходу органического топлива во время стоянки тепловоза в «горячем» состоянии, и необходимости удаления дыма при работе тепловоза в закрытых цехах. В случае использования для маневров моторвагонных секций, необходимо предусматривать в плане маневровой работы способы постановки вагонов на пути без контактной сети. В обоих случаях необходимо наличие маневровых машинистов и локомотивной бригады, если маневры выполняются электропоездом. Существуют различные виды маневровых тяговых единиц, управляемых дистанционно, и называемых маневровыми тяговыми модулями.

Предлагается создать маневровый тяговый модуль на базе моторной тележки электропоезда типа ЭД4М. Оснастить его накопителями энергии, преобразователями энергии и системой дистанционного управления. При доработке тележки для возможностей поперечного перемещения между путями, можно получить новые возможности для снижения расхода энергии на маневровую работу. Проведенные расчеты позволили определить необходимую силу тяги, рассчитать параметры накопителя энергии исходя из потребного количества циклов пуска и торможения, выбрать подходящую модель аккумулятора из трех возможных вариантов. Предлагаемое решение позволит снизить эксплуатационные расходы, обслуживать экипажную часть маневрового тягового модуля в моторвагонном депо, а также улучшить экологическую обстановку на территории предприятий.

П.Н. Белоногов, студ.;
рук. К.В. Ларин, преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ

Целью работы был анализ тележек различных трамваев, выявление тенденций в их проектировании.

Тележка — устройство для опоры кузова вагона. Бывают моторными и поддерживающими. Она обеспечивает скорость, плавность и безопасность хода транспортного средства.

В работе описаны основные элементы тележек трамвайных вагонов: рама, упругое подвешивание (пружины, рессоры, пневматические рессоры, резиновые и резинометаллические упругие элементы), тормозные устройства (механические колесно-колодочный, дисковый, барабанный и электромагнитный тормоза), колесные пары (колесные блоки), буксовые узлы.

Были рассмотрены пять тележек трамваев разных времен и стран производства, таких как «Спектр», 71-931М («Витязь-М»), Т (Татра), Cityrunner, Bombardier Flexity Swift. В последствии были сделаны выводы о современных тенденциях в проектировании ходовых частей.

Современные трамвайные тележки конструируют так, чтобы трамвай был низкопольным. Это достигается за счет освобождения пространства между колесами и переноса компонентов привода и тормозной системы наружу или перед подшипниками. Также можно использовать мотор-колеса. При их использовании высота пола зависит только от высоты порталной балки и хода рессор в первичном и вторичном подвешиваниях. Благодаря многосекционности большинства современных трамваев можно увеличить вместимость транспортного средства и улучшить вписывание трамвая в кривую. Сочлененность (многосекционности) так же увеличивается процент низкого пола трамвайного вагона. Достигается это путем использования двух видов тележек: поворотных и неповоротных. Поворотные, как правило, обмоторенные, а неповоротные могут быть как обмоторенными, так и нет. Часто устанавливаются в короткие секции трамвая.

Литература

1. **Калинин В.К.:** «Электровозы и электропоезда».
2. **Ignacio Robla Sánchez:** «Wheel Wear Simulation of the Light Rail Vehicle A32».
3. **Н.С. Бачурин, А.А. Красниенко, Д.Ю. Шавырин:** «Ходовые части трамвайных вагонов».
4. **А.А. Воробьев, А.М. Будюкин, В.Г. Кондратенко:** «Анализ современных технических решений, применяемых в конструкциях низкопольных трамвайных вагонов».

И.С. Шатинский, студ.;
рук. Ю.В. Рашек, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МАНЕВРОВЫЙ ТЯГОВЫЙ МОДУЛЬ

Работа посвящена исследованию, расчету и выбору параметров маневрового тягового модуля.

Маневровый тяговый модуль (МТМ) — это специальный железнодорожный подвижной состав, предназначенный для выполнения маневровых операций на железнодорожных станциях, в том числе для сортировки вагонов по назначению, формирования и расформирования поездов. Он используется на железнодорожных станциях и вагоноремонтных предприятиях, где требуется быстро и эффективно маневрировать поездами и составами вагонов.

В работе рассмотрено применение маневровых тяговых модулей в депо метрополитена. Произведен обзор возможных вариантов маневровой работы в метрополитене, каждому из видов дано подробное описание.

Выполнен расчет параметров МТМ. Проведен расчет количества энергии, требующейся для работы маневрового модуля. Определены параметры аккумулятора и выбран образец из выпускающихся промышленностью.

Проведено сравнение рассчитанного модуля и прототипа «Антей А1» по несколькими параметрам, выявлены преимущества и недостатки рассчитанного МТМ:

- рассчитанный модуль обладает большей массой, чем «Антей А1», что позволяет ему использовать стальные колеса вместо резиновых;
- больший диаметр колеса рассчитанного модуля обладает большим коэффициентом сцепления с рельсами (при одинаковом материале колёс);
- размеры и габариты обоих модулей близки по значениям;
- управление обоих модулей дистанционное;
- сила тяги рассчитанного тягового модуля имеет большее значение, чем у прототипа «Антей А1», что соответствует большей мощности. Это позволяет ему перевозить поезда большей массы, что является преимуществом.

Литература

1. **Слепцов М.А., Долаберидзе Г.П., Прокопович А.В.** Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М: Издательский центр «Академия», 2006.
2. **Байрыева Л.С.** Теория электрической тяги. М.: Издательство МЭИ, 2004.

Направление V
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
Technosphere safety

Руководитель направления:
Заведующий кафедрой
инженерной экологии
и охраны труда НИУ «МЭИ»
д.т.н., доцент
Кондратьева Ольга Евгеньевна

Секция 28

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Technosphere safety

Председатель секции: д.т.н., доцент Кондратьева Ольга Евгеньевна

Секретарь секции: к.т.н. Локтионов Олег Александрович

*А.Р. Васильев, С.А. Кострюков, студенты;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ

В последнее время с точки зрения роста конкурентоспособности отечественной энергетики помимо основных маркерных вредных (загрязняющих) веществ особое внимание уделяется контролю выбросов парниковых газов. В этой связи на тепловых электрических станциях необходимо внедрение организационно-технологических мероприятий по повышению эффективности использования органического топлива с целью экономичной выработки электрической и тепловой энергии и снижения выбросов парниковых газов в окружающую среду. Следует отметить, что наиболее реальными в части внедрения на действующих энергетических объектах являются технологии ограничения выбросов углекислого газа на стадии охлаждения продуктов сгорания. Автором выполнено сравнение различных технологий (вариантов) ограничения выбросов парниковых газов в атмосферу, а также проведена оценка эффективности применения организационно-технологических решений на действующих тепловых электростанциях с целью возможности их широкого внедрения на производстве [1].

Рассмотрены схемные решения ограничения выбросов парниковых газов на тепловых электростанциях на стадии охлаждения продуктов сгорания. Получены технико-экономические показатели внедрения природоохранных технологических решений (варианты). Результаты исследования показали, что в настоящее время ограничительные меры в части проведения эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ на теплоэнергетических предприятиях в значительной мере позволят систематизировать экологическую информацию по каждому источнику выбросов. Следует отметить, что применение данного инструмента дополнительно позволит энергетическим объектам определить значения технологических показателей выбросов и разработать программу повышения экологической эффективности.

Литература

1. **Федеральный закон РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ** «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_329955/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/) (дата обращения 01.10.2023).

*А.Р. Васильев, С.А. Кострюков, студенты;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ ПРИ РАБОТЕ ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛОВ

При сжигании топлива в паровых котлах образуются различные вредные (загрязняющие) атмосферу вещества. В значительной степени интенсивность их образования зависит от режимно-технологических факторов топочного процесса, и в некоторой степени, от теплотехнических характеристик топлива. Отечественным природоохранным законодательством определен перечень маркерных веществ, образующихся при сжигании природного газа, мазута и твердого топлива. Следует отметить, что наряду с маркерными веществами в процессе горения топлива образуются парниковые газы. При этом плата за выбросы парниковых газов в атмосферу является добровольной, а масса выбросов не нормируется. В этой связи, исследования, связанные с оценкой массовых выбросов парниковых газов при сжигании топлива в паровых котлах на тепловых электростанциях являются актуальными, особенно, в условиях реализации концепции углеродной нейтральности [1].

В работе авторами выполнена оценка массовых выбросов углекислого газа при работе газомазутного котла с естественной циркуляцией Е-320-140 ГМ на различных режимах нагрузки. В качестве вариантов расчетов были рассмотрены различные сочетания ступенчатого сжигания топлива и топливного разбаланса. Для более детальной оценки выполнены расчеты при сжигании природного газа Саушкинского месторождения, крекингового мазута и в условиях комбинированного сжигания природного газа и мазута в различных пропорциях.

Результаты исследования показали, что концентрация углекислого газа в продуктах сгорания в значительной степени зависит от нагрузки котла и содержания углерода в топливе. Следует отметить, что полученные результаты могут быть применены на энергетических предприятиях при инвентаризации выбросов парниковых газов и разработке программы повышения экологической эффективности, а также при участии в эксперименте по квотированию выбросов парниковых газов.

Литература

1. **Федеральный закон РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ** «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/ (дата обращения 06.10.2023).

*В.А. Косов, М.А. Косов, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов);
А.С. Кузнецова, студ.; рук. Р.И. Кузьмина, д.х.н., проф.
(СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПРОДУКТОВ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ В СЛОЕ КАТАЛИЗАТОРА

Широко практикуемое сжигание промышленных и бытовых твердых отходов в печах разнообразных конструкций часто сопровождается вторичным загрязнением окружающей среды продуктами недожога и содержащимися в газовых выбросах диоксинами, оксидами азота и другими вредными для живой природы компонентами. Для уменьшения вредных выбросов нами разработана печь [1] с обезвреживанием высокотемпературных газообразных продуктов горения при их фильтрации через слой зернистого катализатора.

Катализатор нанесен на поверхность твердых частиц шамота и состоит из оксида никеля в количестве 0,5...2,5% и оксида меди в количестве 1...3% от всей массы катализатора. При гетерогенном катализе в интервале температур от 800°C до 1800°C из отходящих топочных газов удаляются сажа и канцерогенные углеводороды, сводятся к минимуму (следы) выбросы оксидов азота, монооксида углерода и токсичных кислородсодержащих соединений. В выполненных нами экспериментах по сжиганию отходов из обрезков древесностружечных плит на входе слоя катализатора в составе газообразных продуктов сгорания содержались (% масс.): метан — 0,1; оксид углерода — 0,8; диоксид углерода — 12,3; оксиды азота — 0,1; эфиры — 0,6; на выходе слоя катализатора (% масс.): метан — следы; оксид углерода — 0,1; диоксид углерода — 8,6; оксиды азота — 0; эфиры — 0. Аналогичные результаты получены и при сжигании других видов твердых отходов, что позволяет рекомендовать данный способ обезвреживания для всех категорий отходов.

Дешевизна катализатора дает возможность широкого его применения для снижения выбросов диоксида углерода в промышленных технологиях и в энергетике, что является актуальной задачей современности.

Авторы настоящей работы принимали участие в разработке печи, в проведении экспериментов по каталитическому обезвреживанию продуктов сжигания, обработке полученных опытных данных и их анализе.

Литература

1. Пат. РФ № 2735755, МПК F 23 G 7/07, F 23 B 10/00. / Ю.Я. Печенегов, Р.И. Кузьмина, О.В. Бурухина, В.А. Косов, М.А. Косов и др. Оpubл. 06.11. 2020. Бюл. № 31.

*В.А. Варигина, Н.А. Татарникова, Д.К. Ерёмин, студенты;
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

О ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАЛАНСЕ Г. МОСКВЫ

Состояние водных ресурсов региона можно охарактеризовать на основе данных о водопотреблении, сопоставляя его с местными водными ресурсами, а также численностью населения. Для этого применяется коэффициент использования водных ресурсов $K_{исп}$, который для г. Москвы и Московской области в 2010 г. составил 44% (при значении $K_{исп} = 10\%$ для 90% субъектов Европейской части России) [1]. При норме водопотребления 0,36 м³/сут.чел. и численности населения г. Москвы 13,1 млн. человек вопрос обеспечения потребителей водой питьевого качества встает особенно остро.

Проблема водообеспечения столичного региона была решена в 1930-х и 1970-х годах благодаря созданию Москворецко-Вазузской и Волжской систем водохранилищ с суммарной водоотдачей 11 млн. м³/сут. Но вопрос рационального водопотребления остается актуальным и на сегодняшний момент, и первым шагом в этом направлении является составление фактического водохозяйственного баланса (ВХБ) г. Москвы с последующей разработкой ресурсосберегающих мероприятий.

Авторами [2] была проанализирована приходная и расходная часть ВХБ г. Москвы. Первая складывается из гарантированной водоподачи 95%-й обеспеченности поверхностных источников, равной 136 м³/с, суммарного отбора подземных вод — 9,7 м³/с, доочищенных сточных вод — 8,4 м³/с. [2]. Расходная часть ВХБ в 2022 г. составляет 132,4 м³/с, включая водопотребление населением, коммунальным хозяйством и промышленностью.

Наличие профицита водных ресурсов в ВХБ г. Москвы не отменяет необходимости внедрения мероприятий по снижению водопотребления. Политика города, направленная на экономию водных ресурсов, в первую очередь должна решать вопрос водопотребления населением (67% расходуемой воды) и промышленными объектами, что позволит устойчивое развитие города.

Литература

1. Джамалов Р.Г., Егоров Ф.Б., Фролова Н.Л. Водные ресурсы Центрального федерального округа России и масштабы их использования. М.: Науки о Земле: сырьевая база и геологоразведка, 2015. С. 32–43.
2. Исмаилов Г.Х., Клепов В.И. Водохозяйственный баланс Московского региона в современных условиях. Гидравлика, гидрология, водные ресурсы, 2013, № 5. С. 47–50.

*Б.Э. Баширов, А.Е. Калачева, студенты;
рук. Н.Б. Рубцова, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 500 КВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПЕРСОНАЛА В КАБЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

В последние годы все больше уделяется внимание безопасности от различного рода электроустановок. Именно обеспечение безопасности в области влияния магнитных и электрических полей составляют проблему, что связано с высокой степенью электромагнитного загрязнения. Если защита человека от электрического поля достигается в том числе и с применением средств защиты, то с магнитными полями не все однозначно, потому что стандартных средств защиты от них нет, а человек для магнитных полей абсолютно прозрачен.

Электромагнитные поля окружают нас на подстанциях, на средствах передвижения, при эксплуатации медицинского оборудования, трансформаторах, холодильниках, пылесосах и т.д. Особый интерес представляют магнитные и электрические поля промышленной частоты (50 Гц). Так проектирование и эксплуатация кабельных и воздушных линий высокого и сверхвысокого напряжения обуславливает необходимость оценки риска их влияния на здоровье и безопасность персонала энергообъектов и населения. Защита от магнитных полей (МП) в виде организационных и инженерных мероприятий. В эти понятия входит защита расстоянием, защита временем, экранирование муфтовых соединений, заглубление кабельных линий КЛ и др.

Пробные измерения уровней МП 50 Гц в тоннеле размещения муфтовых соединений (в кабельных каналах КЛ 500 кВ) показали, что даже при нагрузке, составлявшей не более 30% от номинальной были зарегистрированы уровни МП от 30–100 мкТл до в 5,5 раза превышающих нормативное значение, установленное для всего рабочего дня — достигая значения 562 мкТл, что может служить фактором риска потери здоровья для персонала, особенно с учетом необходимости пересчета на нагрузку, приравненную к номинальной.

При этом кабельные линии не имеют санитарно-защитных зон и могут служить фактором риска неблагоприятного влияния на население магнитной составляющей, которая еще в 2002 г. Международным агентством по исследованию рака была отнесена к категории «2b» — «условных=возможных канцерогенов» по лейкозам для детей [1].

Литература

1. IARC Monograph Volume 80 Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, 2002. 429 p.

В.А. Косарев, студ.; рук. А.А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНЫХ КОМБИНАТОВ

В соответствии с законодательством Российской Федерации все молочные предприятия не могут работать без очистных сооружений. Представители переработчиков утверждают, что некоторые предприятия имеют возможность исключать сбросы образующейся сыворотки и других побочных молочных компонентов в канализационную систему. Это происходит, например, с помощью отправки всего объема сыворотки на выпойку скоту или переработку на высокотемпературной сушке. Однако при отсутствии локальных очистных сооружений (далее — ЛОС) даже такие заводы будут считаться нарушающими законодательство.

Смывы молочной продукции, отработанные моющие растворы, аварийные сбросы молока и его продуктов в технологических процессах будут все так же попадать в канализационную систему. Поэтому полностью исключить данную проблему не представляется возможным. Так же переработчики утверждают, что новые очистные сооружения сложно установить на старых заводах, основанных на советской системе сливочных отделений.

С 1 января 2021 года молочные предприятия из I категории, согласно Постановлению Правительства РФ № 2398 от 31 декабря 2020 года, при наличии сброса загрязняющих веществ в централизованные системы водоотведения или в водные объекты с использованием локальных очистных сооружений, переходят во II категорию опасности.

Наряду с этим, санкционная политика 2022–2023 гг., уход с отечественного рынка иностранных производителей комплектующих, проблемы с поставками упаковки и введение обязательной маркировки в рамках Постановления Правительства РФ от 15.12.2020 № 2099 ставят под вопрос само существование малых предприятий-переработчиков молока. Можно уверенно говорить о нарастании в ближайшей перспективе проблематики для предприятий молочного сектора, в особенности, для предприятий среднего и малого бизнеса, в части обеспечения требований природоохранного законодательства к организации сбросов сточных вод.

Учитывая вышеизложенное, категорирование наряду с разработкой специального регламента по переводу биологических остатков из отходов в удобрения фактически не освобождают предприятия от очистки сточных вод молочных цехов. Таким образом, применение полей фильтрации в качестве ЛОС для молочных комбинатов является наиболее экономичным, высокоэффективным и универсально применимым в силу конструктива.

Д.В. Чистяков, студ.; К.К. Ермаков, асп.;
рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., проф. (ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново)

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ СОТРУДНИКОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Задача по обеспечению безопасных условий труда является приоритетной на всех предприятиях России. Контроль нахождения сотрудника в зоне повышенной опасности, а также мониторинг показателей его здоровья в условиях открытых, производственных площадок реализованы в единой системе мониторинга состояния здоровья [1]. Работа системы ограничена зоной покрытия мобильной сети, а функционирование в условиях железобетонных помещений сводится к работе в режиме локального накопления данных, без связи с центральным сервером, что недопустимо.

Соответственно, для решения проблемы выполнена разработка нового модуля системы удалённого мониторинга для работы внутри зданий. В его основе лежит использование нескольких точек доступа, установленных по периметру рабочих помещений, выполняющих ретрансляцию данных на сервер. Помимо ретрансляции, для обеспечения контроля нахождения сотрудника в опасной зоне реализована поддержка технологии Wi-Fi RTT [2]. В качестве тех. платформы для реализации точки доступа используется плата контроллера ESP32-S3 с дополнительной функцией POE. А точкой запроса соответственно является телефон сотрудника.

Технология Round Trip Time — это время, необходимое для прохождения данных в рамках сетевого запроса от начальной точки до места назначения и обратно. За счет данной информации, расчетным методом можно получить расстояние от точки запроса до точки доступа [2].

Модуль системы находится на стадии тестирования для проверки работоспособности и поиска недостатков решения.

Литература

1. **Виноградов, А.Б.** Система мониторинга соблюдения техники безопасности и состояния здоровья сотрудников: материалы докладов XVIII Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Томск, 16–18 ноября 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Том Часть 2. — Томск: В-Спектр, 2022. — С. 256–258. — EDN KXUMND.
2. **V. Barral Vales, O.C. Fernández, T. Domínguez-Bolaño, C.J. Escudero and J.A. García-Naya**, “Fine Time Measurement for the Internet of Things: A Practical Approach Using ESP32,” in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 19, pp. 18305–18318, 1 Oct.1, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3158701

А.А. Лейтейзин, студ.; рук. А.И. Быков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР МИКРОФОННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИМПЕДАНСНЫХ ТРУБ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

В настоящее время очевидно, что переход на электрический транспорт займет очень много времени, если вообще состоится в полном объеме. Поэтому улучшение глушителей шума и исследование возможных элементов глушения шума остается актуальным вопросом, так как повышенный транспортный шум оказывает негативное влияние на людей, проживающих вблизи дорожного трафика, и способствует развитию различных болезней, особенно, связанных с ЦНС. Поэтому предлагается изготовить экспериментальный стенд для изучения эффективности глушителей и их элементов.

На данный момент существует множество микрофонных методов измерения акустических характеристик, в том числе на основе импедансных труб, которые можно использовать в стенде. Например для измерения коэффициентов звукопоглощения и звукоотражения и импеданса используется метод «двух микрофонов», берущий в основу разложение широкополосного стационарного случайного сигнала на падающую (P_i) и отраженную (P_r) составляющие. Источником звука генерируется сигнал и с помощью микрофонов, расположенных в двух точках на поверхности трубы, определяются (P_i) и (P_r) составляющие из отношения между величинами акустического давления.

Для измерения потерь звука (звукоизоляции) при прохождении через испытываемый материал используется метод «четырех микрофонов». Микрофоны попарно устанавливаются с обеих стороны от исследуемого образца. Звуковые волны, падающие на образец, частично отражаются и поглощаются в нём, оставшиеся проходят в приёмную трубу, где достигают конца трубы и еще раз отражаются. Определение звукового давления в четырех точках позволяет выяснить величину потерь звука. В итоге метод для стенда будет выбран в зависимости от необходимого функционала.

Литература

1. **Петров, С.Н.** Импедансная труба для измерения коэффициентов звукопоглощения и потерь при передаче звука / С.Н. Петров, С.М. Горощко, А.М. Прудник // Приборостроение-2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции (Минск, 1–3 ноября 2017). — Минск: БНТУ, 2017. — С. 121–122.
2. **Остриков, Н.Н.** Экспериментальное подтверждение аналитической модели распространения звука в прямоугольном канале при наличии скачков импеданса и разработка на ее основе метода извлечения импеданса / Н.Н. Остриков, М.А. Яковец, М.С. Ипатов // Акустический журнал. — 2020. — Т. 66, № 2. — С. 128–147. — DOI 10.31857/S0320791920010062. — EDN AAVEWB.

Д.М. Комаров, студ.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ КАРТ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В настоящее время при проектировании новых или реконструкции существующих линий электропередачи для определения расчетных нагрузок на воздушные линии (ВЛ) при воздействии климатических факторов используют карты климатического районирования. Согласно ПУЭ-7, в качестве климатических факторов и их производных выделяют: ветровое давление, толщину стенки гололеда, температуру воздуха, степень агрессивного воздействия окружающей среды, интенсивность грозовой деятельности, пляску проводов и тросов, вибрацию.

Существующие методики по расчету нагрузок на ВЛ при влиянии климатических факторов оперируют непрерывными метеорологическими рядами за 10 лет со значениями климатических характеристик обеспеченностью 96%. Однако, фактический вклад климатического воздействия на аварийности ВЛ превышает расчетные вероятности технологических нарушений по данным методикам практически в 5 раз [1].

Одним из возможных направлений минимизации расхождений между расчетными и фактическими оценками является корректировка категории климатического районов на основании ретроспективных данных. Для достижения данной цели необходимо расширить классификацию причин аварий на объектах электросетевого комплекса, утвержденную приказом Минэнерго от 02.03.2010 № 90 и дополнить группу воздействий повторяющихся стихийных явлений следующими причинами аварий: перекрытие проводов разных фаз из-за ионизации воздушного промежутка при грозовом разряде рядом с ВЛ, комбинированное воздействие гололедо-изморозевых отложений и ветровых нагрузок; падение веток и(или) деревьев в результате ветровых нагрузок; и(или) в результате гололедно-изморозевых отложений.

Корректировка причин классификации позволит более детально оценить влияние климатических факторов на ВЛ с учётом их технического состояния и сформировать обоснование для корректировки категорий климатических районов, а также разработать конкретные адаптационные мероприятия по повышению надежности.

Литература

1. **Локтионов О.А.** Сравнительная оценка расчетных и фактических значений ветровых нагрузок, обеспечивающих надежность воздушных линий электропередачи // Актуальные вопросы устойчивого развития регионов, отраслей, предприятий: материалы МНПК, Тюменский индустриальный университет, 2023. — С. 254–258.

Д.О. Максимов, студ.; Д.А. Мирошниченко, ассист. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

Вопросы, связанные со снижением травматизма на производстве, на протяжении длительного периода сохраняют свою актуальность. По результатам проведения литературного обзора был определен следующий перечень наиболее распространенных стратегий: концепция «Нулевого травматизма», концепция «Приемлемого риска», Safety-II. В таблице приведены результаты сравнительного анализа.

Таблица. Сравнительный анализ стратегий снижения производственного травматизма

Наименование стратегии	Область применения	Основная идея	Инструменты реализации стратегии
Нулевой травматизм	Широкий спектр отраслей применения	Упрощение правил безопасности для обеспечения понимания их всеми работниками, развитие лидерских качеств у работников и культуры безопасности в целом	Система видеоаналитики, проведение поведенческого аудита безопасности
Приемлемый риск	Нефтегазовая промышленность, экономика	Невозможно полностью устранить потенциальные причины, приводящие к отклонениям. Формирование сознательного отношения к риску и организация управления им	Метод анализа дерева неисправностей
Safety-II	Авиация, химическая промышленность, энергетика	Акцент на условиях и организации работы, упрощении процессов. Развитие способности работников работать не «правильно», а «безопасно»	Карта изменчивости процессов, матрица резонанса

На основании таблицы можно сделать вывод, что стратегия «Safety-II» более перспективна для внедрения на территории России. Следует отметить, что в стратегии внимание фокусируется на анализе реальных рабочих ситуаций. «Safety-II» направлена на развитие осознанности работников в производственном процессе и на умение принимать решения в новых условиях, которых нет в алгоритмах.

Литература

1. **Кузнецова, Е.А.** «Нулевой травматизм»: история и современность / Е.А. Кузнецова // Экономика труда. — 2018. — Т. 5, № 2. — С. 521–540.

П.А. Васин, студ.; рук. М.В. Рябчицкий, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ДУГОВОГО ПРОБОЯ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Дуговой пробой (ДП) является одной из наиболее серьёзных и распространённых причин аварий в электроустановках. Дуговой пробой представляет значительную пожарную опасность, так как при его возникновении в помещении, стандартные средства защиты, такие как автоматический выключатель и устройство защитного отключения на него не реагируют. Анализ причин дугового пробоя и разработка мер защиты от него, является важной составляющей в обеспечении пожарной безопасности.

Дуговым пробоем называют непреднамеренную электрическую дугу, возникающую между проводниками. Под ее действием проводники перегреваются, что может стать причиной воспламенения изоляции и находящихся в непосредственной близости горючих конструкций [1].

В отличие от глухих коротких замыканий, возникающий при дуговом пробое ток, ограничивается сопротивлением нагрузки, то есть не достигает значений, на которые реагируют автоматические выключатели, но за счет длительного времени его протекания, может приводить к воспламенению.

Среди основных причин дугового пробоя можно выделить: механическое нарушение целостности проводов; старение и дефекты изоляции; ослабление контактов и соединений; деформацию штепсельных вилок и кабелей; некачественный монтаж или поврежденные устройства; воздействие на изоляцию грызунов.

Выделяют два вида дугового пробоя:

- 1) Параллельный дуговой пробой — пробой изоляции между нормально изолированными токопроводящими частями.
- 2) Последовательный дуговой пробой — это частичный обрыв и непреднамеренное отключение проводника, который в нормальном состоянии непрерывен.

Дуговой пробой сопровождается высокой температурой, из-за воздействия которой может происходить воспламенение изоляции кабеля и находящихся рядом легковоспламеняющихся веществ. Соответственно возникает риск возникновения пожара, что может привести к серьёзным материальным убыткам, а также представлять угрозу для жизни людей.

Поэтому для обеспечения пожарной безопасности, возникающей при дуговом пробое в контролируемой, или защищаемой цепи необходимо использовать устройство защиты при дуговом пробое (УЗДП).

Литература

1. **Егоров А.В.** Устройства защиты от дугового пробоя // «Рынок Электротехники», журнал-справочник, 2021, № 3(63). С. 28–34.

Р.А. Карданов, студ.;
рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОДГОТОВКА РЕЗЕРВНОГО КАДРОВОГО СОСТАВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Образование играет ключевую роль в развитии общества, и существует неотложная необходимость в его усовершенствовании. Использование информационных технологий, обновление методов преподавания, внедрения интерактивных форм обучения и развитие критического мышления у обучающихся необходимы для улучшения получаемой информации [1]. Важно также обратить внимание на социальную составляющую образования, обеспечивая доступность и равные возможности для всех слоев населения [2].

В энергетической сфере образование, как и в любом другом техническом направлении, представляет особый интерес при изучении процесса формирования инновационной экономики в Российской Федерации. В настоящее время наблюдается дефицит персонала в энергетической отрасли достаточно во многих направлениях [3]. Это может проявляться из-за множества факторов. Во-первых, с развитием новых технологий и переходом к более экологически чистым и эффективным источникам энергии, требуется переобучение и адаптация существующей рабочей силы. Во-вторых, с развитием технологий и увеличением населения, потребление энергии постоянно растет, что создает дополнительный спрос на специалистов в сфере энергетики. В-третьих, многие работники энергетической отрасли находятся на пенсии или близки к ней, а молодого резервного кадрового состава, готовых их заменить недостаточно.

На основе анализа и исследовательского подхода к решению стоящей задачи, затрагивается вопрос пересмотра и усовершенствования существующей системы подготовки кадров в высших учебных заведениях Российской Федерации, учитывая их особенности и возможности.

Литература

1. **Д.И. Ильина** «Роль информационных технологий в науке и образовании» // XV Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая». 2023.
2. **А.В. Калачев** «Проблема доступности образования в современной России» // Журнал «Известия Волгоградского государственного педагогического университета». 2021. № 5. С. 17–21.
3. **М. Кутузова** «Острый дефицит кадров тормозит развитие теплоэнергетики» // Газета «Энергетика и промышленность России». 2023. № 15–16. С. 467–468.

И.Ю. Изотиков, студ.;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКИХ ТЭС

В декабре 2022 г. Росстандарт утвердил информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 38-2022 для добровольного применения в России с 1 марта 2023 г. [1]. Приказом Минприроды России были утверждены технологические показатели (ТП) выбросов маркерных загрязняющих веществ (ЗВ), указанные в ИТС-38-2022, на основании которых ТЭС I и II категории по негативному воздействию на окружающую среду должны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР) в срок до 01.01.2025, а также предприятия из «списка 300» подать заявку на КЭР до 31.12.2024.

Сложность проблемы заключается в том, что более 90% всех пылеугольных котлов введены в эксплуатацию до 31.12.200 г., большая часть из которых не удовлетворяет ТП выбросов маркерных ЗВ, в частности, по золе твёрдого топлива [2]. Следовательно, предприятиям данной категории необходимо внедрить НДТ, которые гарантированно могут снизить концентрацию золы до установленных нормативов.

В этой связи в рамках данной работы был предложен алгоритм оптимального выбора НДТ золоулавливания с учетом специфики сжигаемых углей и установленного оборудования ТЭС. Данный алгоритм формирует перечень НДТ золоулавливания, рекомендуемых к внедрению на конкретной энергетической установке на основании соответствующих исходных параметров, и осуществляет выбор технологии из предложенных по определенному правилу. В качестве исходных параметров при выборе НДТ особое внимание уделено входной мощности установки, зольности используемого топлива и типу установленного на данный момент золоуловителя. Разработанный алгоритм позволит специалистам экологических и технических служб учесть многообразие факторов, влияющих на выбор НДТ золоулавливания, а также сократить время на принятие решения, удешевить и повысить эффективность внедряемых воздухоохраных мероприятий.

Литература

1. **Приказ Росстандарта от 20.12.2022 № 3227** “Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии”.
2. **Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Гусева Т.В.** Проблемы адаптации действующего оборудования ТЭС к технологическим показателям выбросов ИТС 38-2022 “сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии”// Теплоэнергетика. 2023. № 10. С. 1–9.

Д.А. Остяков, студ.; рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА НА РЕПРОДУКТИВНОЕ ЗДОРОВЬЕ РАБОТАЮЩИХ МУЖЧИН

Среди причин семейного бесплодия нарушения мужской репродукции составляют 40%. Зачастую это связано с воздействием вредных и опасных производственных факторов [1].

При анализе факторов физической природы было установлено, что работа в условиях экстремальных температур вызывает нарушение сперматогенеза, влияя на объем, количество и подвижность сперматозоидов.

Воздействие шума и общей вибрации высокой интенсивности вызывают изменения в нейроэндокринной системе, приводящие к угнетению секреторной активности предстательной железы.

Ионизирующее излучение оказывает прямое воздействие на качество сперматозоидов и репродуктивные гормоны, что приводит к хромосомным изменениям и развитию врожденных аномалий у потомства, также возможно бесплодие. Установлено снижение подвижности сперматозоидов до 99%. Аналогичные негативные эффекты выявлены и при воздействии на работников неионизирующих излучений [2].

При анализе факторов химической природы установлено, что тяжелые металлы и некоторые группы токсичных веществ (ароматические углеводороды, формальдегиды и пр.) способны накапливаться в мужских репродуктивных органах, оказывать токсическое воздействие на гипоталамус, гипофиз и приводить к нарушению подвижности и плотности сперматозоидов, что повышает риск бесплодия и врожденных аномалий у потомства [3].

Поэтому актуальным является выявление конкретных профессий, негативно влияющих на репродуктивное здоровье работников, и разработка профилактических мероприятий для них.

Литература

1. Хайрутдинов К.Н., Ситдыкова М.Э., Зубков А.Ю. Мужское бесплодие — проблема XXI века. Практическая медицина. 2018. Том 16, № 6, С. 185–189.
2. Фесенко М.А., Голованева Г.В., Мителева Т.Ю., Вуйцик П.А. Влияние вредных производственных физических факторов на репродуктивное здоровье работников мужчин — 2023; 63(8) — С. 528–533.
3. Хамидулина Х.Х., Дорофеева Е.В., Фесенко М.А. Современные подходы к формированию национального перечня химических веществ, обладающих воздействием на репродуктивную функцию и развитие потомства // Токсикологический вестник — 2014 — С. 2–16.

Д.А. Гринченко, студ.; М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ТРАДИЦИОННОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Известные запасы нефти ограничены и в конечном итоге иссякнут. Различные исследования указывают дату глобального пика добычи нефти между 1996 и 2035 годами. В этом контексте, биодизельное топливо привлекает все большее внимание как потенциальная замена для традиционного дизельного топлива.

Биодизельное топливо и дизельное топливо на нефтяной основе обладают сходными топливными свойствами, такими как вязкость, теплотворная способность, температура кипения, цетановое число и т.д. По этой причине биодизельное топливо может использоваться в стандартных дизельных двигателях.

С эксплуатационной точки зрения биодизельное топливо содержит около 90% энергии нефтяного дизельного топлива, измеряемой на объемной основе. Благодаря этому факту использование биодизельного топлива в среднем снижает экономию топлива и мощность двигателя примерно на 10% по сравнению с нефтяным дизельным топливом. Причина такого снижения связана главным образом с содержанием кислорода в биодизельном топливе, улучшением процесса сгорания и улучшенной смазывающей способностью, которые частично компенсируют влияние более низкого содержания энергии.

Биодизельное топливо — это насыщенное кислородом соединение. Оксигенаты — это предварительно используемые углеводороды, структура которых обеспечивает разумную антидетонационную способность [1]. Кроме того, поскольку оксигенаты содержат кислород, сжигание топлива происходит более эффективно, что снижает содержание углеводородов в выхлопных газах. Единственным недостатком является то, что обогащенное кислородом топливо содержит меньше энергии. Для достижения той же эффективности и выходной мощности необходимо сжигать больше топлива.

Таким образом, использования биодизельного топлива является перспективным направлением. Это позволит снизить вредные выбросы, повысить энергетическую и экологическую безопасность.

Литература

1. **Ayhan Demirbas** «Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines». 2007.

Р.И. Анпилогов, студ.;
рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПОДНАДЗОРНЫХ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ НАДЗОРУ

Аварии на объектах энергетики непосредственно влияют на экономические показатели работы системы. Снижается надежность электроснабжения в энергетических системах, нарушается отлаженный технологический режим, выходит из строя дорогостоящее оборудование, происходят травмы и гибель персонала, а также негативное влияние на окружающую среду. Для ликвидации последствий требуются большие материальные затраты.

Основными причинами аварий на объектах поднадзорных государственному энергетическому надзору являются [1]:

- 1) Снижение надежности энергосистемы;
- 2) Нарушение работы средств связи;
- 3) Нарушение в работе противоаварийной или режимной автоматики.

На нарушение в работе противоаварийной автоматики и средств связи может влиять электромагнитная обстановка на электроэнергетических объектах, так как в большинстве случаев данная аппаратура снабжена микропроцессорами, которые подвержены влиянию магнитных полей, вызываемые высоковольтным оборудованием, ударами молнии и короткими замыканиями. Помимо электромагнитной обстановки, нарушение в работе средств связи и противоаварийной автоматики вызвано ненадлежащим состоянием данной аппаратуры, так как происходит износ оборудования в процессе длительной эксплуатации, а также ошибок персонала и организаций, выполняющих проектирование и монтаж оборудования

Таким образом, необходимо соблюдение требований по электромагнитной обстановке на объектах энергетики, повышение уровня организации производства работ, усиление контроля за приемом электрооборудования, проектов оборудования, выполнением монтажа, за соблюдением периодичности проверки знаний персоналом требований нормативных правовых актов по охране труда при эксплуатации энергоустановок.

Литература

1. Анализ причин аварий на энергоустановках, подконтрольных органам Ростехнадзора за 2021 год // Ростехнадзор: сайт. — URL: <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 18.11.2023).

*М.В. Залякаев, студ.;
рук. Е.В. Федерова, к.м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ УМСТВЕННОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Для удовлетворительного восприятия и запоминания информации в процессе обучения у студентов должна быть высокая умственная работоспособность. Поэтому актуальным является анализ умственных когнитивных функций обучающихся.

Установлено, что в случае умственного утомления объем памяти значительно сокращается, в результате чего человек теряет возможность запоминать даже недавно усвоенный материал. Когда человек на протяжении продолжительного времени занимается интеллектуальной работой, происходят функциональные изменения в организме, так как физическая активность практически не используется. В результате возникает нарушение равновесия в организме, негативно влияющее на работоспособность практически всех систем органов. Эти нарушения можно объяснить тем, что замедление определенных областей коры головного мозга приводит к ограниченному поступлению информации в мышечную систему, испытывающей сниженную работоспособность [1].

Для предотвращения развития умственного переутомления рекомендуется соблюдать следующие меры профилактики: регулярно соблюдать режим работы и отдыха, налаживать правильное питание, уделять достаточно времени физической активности и следить за состоянием дыхательной функции [2].

Кроме изменения функций центральной нервной системы при умственном переутомлении изменяется состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Недостаток кислорода может привести к снижению работоспособности и ухудшению общего состояния здоровья. С другой стороны, правильное дыхание способствует улучшению кровообращения, что в свою очередь благотворно влияет на работоспособность различных систем органов, включая мозг. Поэтому для анализа состояния умственной работоспособности обучающихся целесообразно проводить комплексный анализ центральной нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, включая использования КДК «Паттерн-01».

Литература

1. Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО «Уральский государственный педагогический университет». Факультет психологии «ПСИХОЛОГИЯ ТРУДА» [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/3536474/> (дата обращения 11.11.2023).
2. **Бароненко В.А.** Здоровье и физическая культура студента [Текст]: учеб. пособие для студентов образовательных учреждений сред. проф. образования / В.А. Бароненко, Л.А. Рапопорт. — 2-е изд., перераб. — Москва: Альфа-М, 2010. 336 с.

А.В. Рогатнева, студ.;
рук. М.А. Бровкина, к.х.н., доц. (КубГУ, Краснодар)

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

На территории России широко развита сеть автомобильных заправочных станций (АЗС), которые являются взрывопожароопасными объектами. При анализе аварийных ситуаций на АЗС, произошедших за последние 20 лет в субъектах Российской Федерации, было построено дерево событий, по которому определено, что наиболее вероятным сценарием развития аварии является пожар пролива легковоспламеняющейся жидкости, а наихудшим — взрыв топливно-воздушной смеси. Также были выявлены следующие нарушения требований пожарной безопасности: несвоевременный ремонт оборудования, неполная проектная документация, несоответствие топлива установленным требованиям. Чаще всего техника безопасности нарушается посетителями АЗС при заправке транспортных средств, а также работниками при загрузке резервуаров топливом и проведении ремонтных работ.

Для АЗС, расположенной на территории Новополянского сельского поселения Апшеронского района Краснодарского края, произведён расчет зон поражения при развитии наихудшего и наиболее вероятного сценариев аварийного события, в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-12 [1]. Согласно результатам расчетов, радиус воздействия теплового излучения при пожаре пролива составляет 21 метр, а радиус воздействия волны давления при взрыве газовой смеси составляет 47 метров, в том числе радиус полного разрушения зданий и сооружений — 4 метра. В зону действия поражающих факторов может попасть персонал организации в количестве 6 человек, а также посетители АЗС.

Превентивные мероприятия по предупреждению аварий на заправочных станциях предполагают всестороннюю оценку имеющихся рисков, на основе которой разрабатываются инженерно-технические мероприятия по обеспечению безопасности, в соответствии с существующей нормативно-правовой базой. От ответственных лиц необходимо требовать полное устранение имеющихся нарушений и строгий контроль за соблюдением требований безопасности. Одной из эффективных мер предотвращения нарушений правил безопасности на АЗС может стать внедрение в систему обучения в автошколах полноценного курса по технике безопасности на территории АЗС и правильному использованию топливно-раздаточной колонки.

Литература

1. ГОСТ Р 12.3.047-12 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Т.В. Памбухчян, студ.;
рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

Эффективное управление охраной труда на предприятиях в условиях перехода к предупредительной модели управления охраной труда и меняющего законодательства остается крайне актуальной задачей на сегодняшний день. Согласно статье 217 ТК РФ [1] работодатель обязан обеспечить создание и функционирование системы управления охраной труда (СУОТ). В Примерном положении о СУОТ [2] выделяются 2 базовые процедуры (специальная оценка условий труда (СОУТ) и оценка профессиональных рисков (ОПР)) и 18 обеспечительных процедур для построения СУОТ. При этом разработка и внедрение СУОТ является достаточно сложным процессом для организации, так как проведение каждой из процедур регламентируется своими отдельными нормативно-правовыми актами (НПА). При построении СУОТ работодателю необходимо в первую очередь грамотно выстроить именно базовые процессы — СОУТ и ОПР, так как все остальные процессы должны реализовываться с учетом результатов СОУТ и ОПР.

На рисунке 1 приведены основные НПА, которые определяют требования к СОУТ и ОПР.

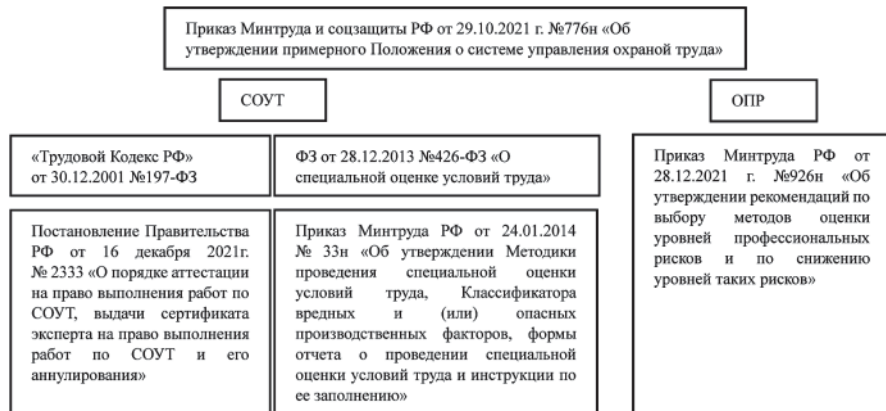


Рис. 1. НПА, регламентирующие требования к проведению СОУТ и ОПР

Литература

1. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ.
2. Приказа Минтруда России от 29.10.2021 г. №776н «Об утверждении примерного Положения о системе управления охраной труда».

А.Д. Петров, студ.; рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СНА И ЕГО НАРУШЕНИЙ

Сон, неотъемлемая часть человеческой жизни, из-за чего он играет ключевую роль в поддержании физического и психического здоровья. Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что несмотря на его важность, механизмы сна и возможные нарушения остаются объектом интенсивных исследований.

Для проведения диагностики нарушения сна в первую очередь собирают анамнез для выявления жалоб пациента и его самочувствие, задавая вопросы о дневной сонливости, сонливости в опасных ситуациях, ощущениях в ночное время и утром, расписании и наличии симптомов заболеваний сна.

Инструментальные методы диагностики помогают выявить причины нарушения сна и дыхания. Наиболее широко-применяемым методом является полисомнография — это метод, который проводится в специализированных лабораториях сна, где пациент проводит ночь в ходе которого регистрируются параметры, такие как дыхание, сердечный ритм и движение глаз [1]. Актиграфия — метод исследования двигательной активности человека, позволяющий выявить некоторые нарушения сна. Данные о перемещениях регистрируются актиграфом, который носится на теле пациента. Однако актиграфия не предоставляет такую детальную информацию о сне, как полисомнография. Множественный тест латенции ко сну — исследование, измеряющее время засыпания человека. Тест проводится в лаборатории сна и включает несколько периодов сна и бодрствования. Перед проведением теста латенции ко сну необходимо провести полисомнографию, чтобы исключить наличие расстройств ночного сна.

Также существуют опросники, которые помогают диагностировать и оценить нарушения сна. Один из них — SQS оценивает качество сна и может быть полезен в мониторинге лечения и предотвращении развития серьезных нарушений. Шкала сонливости Эпворта (ESS) используется для оценки степени сонливости у пациентов. STOP-BANG — для оценки наличия обструктивного апноэ сна. Мюнхенская шкала хронотипов помогает определить склонность к утрунному или вечернему образу жизни. Однако важно понимать, что эти опросники не являются основой для постановки диагноза, а лишь помогают выявить первоначальные проблемы со сном.

Литература

1. **Агальцов М.В.** Полисомнография или кардиореспираторное мониторирование — что выбрать для оптимальной диагностики нарушений дыхания во сне? // Артериальная гипертензия. — 2019. — № 25. — С. 604–612.

К.А. Кобозева, студ.; Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМАТИКА ОЦЕНКИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

На данный момент можно говорить о том, что в мировой экологической экономике используется концепция «экосистемного подхода», которая классифицирует элементы природного капитала посредством структурных единиц — экосистем. Глобальная стоимость природного капитала оценивается на основе экосистемных услуг (ЭУ), которые включают материальные, энергетические и информационные потоки, создаваемые запасами природного капитала. Определение ценности природных ресурсов, как основного направления глобального развития было установлено в качестве первоочередной задачи национальной экологической политики, и, фактически, это направление сегодня представляет собой главный приоритет зеленой экономики.

Для создания системы платежей и компенсаций за экосистемные услуги необходимо уделять особое внимание экономическим аспектам, таким как их экономическая оценка, характеристики получателей услуг, проблемы финансирования и компенсации ЭУ. Необходимо также оценивать поток выгод от экосистем и их влияние на благосостояние общества.

Несмотря на это, экономический анализ не должен являться единственным критерием для принятия решений, необходимо также учитывать и другие критерии: социальные, этические и культурные, что делает стоимостную оценку ЭУ непростой задачей. Выгоды, получаемые от экосистем, распространяются на огромные территории и распределяются неравномерно. Различные группы получателей могут использовать экосистемы по-разному, что может приводить к потерям для одних и выгодам для других [1].

На данный момент, не все из идентифицированных экосистемных услуг могут быть точно оценены на рынке. Исследования показали, что на данный момент существуют четыре основных категории экосистемных услуг, для которых возможно использование компенсационных платежей. Эти категории включают услуги по обеспечению пресной водой, поглощению углерода, сохранению биоразнообразия и эстетических свойств ландшафтов. Таким образом, разработка системы оценки ЭУ является сложной и важной задачей, требующей не только экономического, но и многокритериального подхода для более полного понимания ценности природного капитала в целях устойчивого развития.

Литература

1. **С.Н. Бобылев, В.М. Захаров.** Экосистемные услуги и экономика. — М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. — 72 с.

К.Д. Лещевская, студ.;
рук. А.С. Козодаев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ СТОЧНОЙ ВОДЫ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

В настоящее время на биологических очистных сооружениях существует проблема нехватки органических, необходимых для эффективной работы микроорганизмов, которые осуществляют процесс очистки. Недостаток органических включений замедляет процесс очистки, увеличивает вероятность выноса активного ила из аэротенка и может привести к гибели микроорганизмов, что в конечном итоге существенно снижает эффективность биологической очистки.

Концентрирование сточных вод является одним из новых методов повышения эффективности процесса биологической очистки. Данный метод может быть реализован путем применения мембранных технологий. Мембраны устанавливаются на стадии предварительной очистки. В процессе мембранной фильтрации, при наличии необходимого давления, вода проникает через полупроницаемую перегородку — мембрану, а загрязнения, согласно размерам отверстий в перегородках, задерживаются, образуя концентрат. Раствор, который проник через поры мембраны в процессе мембранного разделения, называют пермеатом.

Размер пор в мембране определяет тип очистки: чем больше размер пор, тем ближе процесс к механической фильтрации [1]. С помощью правильного подбора мембраны можно добиться, чтобы в составе пермеата присутствовали только молекулы воды, а все органические вещества оставались в растворе концентрата.

После мембранного разделения, концентрат подается на сооружения биологической очистки согласно схеме на рисунке 1, а пермеат заводят сразу на стадию доочистки.

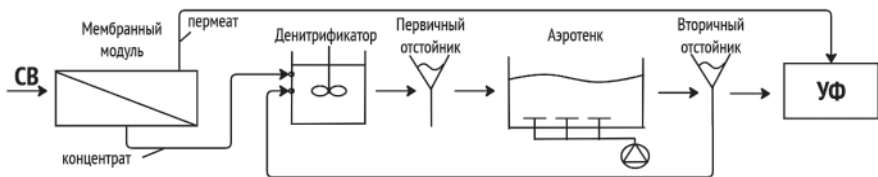


Рис. 1. Схема биологической очистки

Этот метод позволяет повысить эффективность биологической очистки, решая проблему нехватки органики. Кроме того, с помощью концентрирования уменьшается объем очищаемой воды, что позволяет снизить капитальные затраты на строительство.

Литература

1. Брок Т. «Мембранная фильтрация» — пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 464 с.

Г.Н. Соколов, студ.;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧС

В работе поднимается весьма актуальная проблема, касающаяся нормативно-законодательной базы в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС). Проводится анализ эволюции законодательства, регулирующего предотвращение, реагирование и управление последствиями ЧС, выявляя изменения в контексте современных вызовов и угроз.

В рамках исследования освещается взаимодействие различных уровней власти и соответствующих нормативных актов, которые определяют обязанности и права субъектов в области чрезвычайных ситуаций. Также выделена роль нормативно-правовых инструментов в формировании системы защиты населения и территорий, а также их влияние на повышение уровня готовности к ЧС.

Проводится оценка эффективности существующей нормативно-законодательной базы, выявляя пробелы и предлагая конкретные рекомендации по ее усовершенствованию. Проводится анализ текущего состояния законодательства и выдвигаются практические предложения по улучшению нормативно-правовой среды в сфере защиты от ЧС.

Важность постоянного обновления и согласования нормативно-законодательной базы подчеркивается как неотъемлемый элемент обеспечения эффективной и адаптивной системы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Полученные результаты предоставляют основу для разработки рекомендаций, которые могут быть эффективно использованы законодателями, общественными организациями и исследователями в целях формирования более эффективной и адаптивной системы защиты от чрезвычайных ситуаций.

Исследование законодательства в сфере чрезвычайных ситуаций является неотъемлемой частью обеспечения национальной безопасности. Анализ изменений в контексте современных вызовов позволяет выделить актуальные угрозы и необходимость их эффективного управления. В рамках исследования рассмотрено взаимодействие различных уровней власти, что подчеркивает важность согласованного действия при предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Адаптация законодательства к современным вызовам требует постоянного мониторинга и обновления.

Литература

1. **Ковалев П.Н.** «Роль нормативно-правовых инструментов в укреплении готовности к чрезвычайным ситуациям.» Сборник «Проблемы Гражданской Безопасности», выпуск 8, 2019, с. 76–89.

Ю.И. Скоринова, студ.; рук. Д.С. Курочкин, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕСУРСОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОМПЕТЕНТНЫМ ПЕРСОНАЛОМ

В современном мире ресурсобеспечение электроэнергетики не ограничивается только энергоносителями и силовым оборудованием, но и существенно определяется системами управления и компетентным персоналом, способным эффективно и ответственно распоряжаться имеющимися ресурсами и технологиями. Вопросы подготовки компетентных работников для электроэнергетики достаточно разнообразны освещены в ряде научных публикаций, особенно в контексте модели образования для экономики прогрессивного бизнес-уклада, территориальных аспектов востребованности выпускников высших и среднеспециальных учебных заведений, подходов к эффективному целевому обучению. В работах [1–3] рассматриваются аспекты подготовки специалистов для высокотехнологичных отраслей в условиях цифровизации экономики, в т.ч. рассматривается целесообразность раннего профориентирования потенциальных работников энергетики. Перечисляется перечень факторов, влияющих на качество подготовки, в котором психологический фактор упоминается, но не акцентируется, оставаясь нераскрытым.

При этом личное отношение самого обучающегося к его будущим карьерным перспективам в выбранной отрасли, его отношение к процессу обучения, ожидания и стремления лежат в основе психологического портрета будущего компетентного работника наукоёмкой отрасли. При этом от персонала энергокомпаний требуется повышенный уровень ответственного отношения к профессиональным обязанностям исходя из основного обязательства энергетики — бесперебойного снабжения потребителей качественной электроэнергией в должном объёме. Процесс формирования психологического профиля должен стать таким же объектом управления в обучении энергетиков, как и процесс формирования профессиональных компетенций.

Литература

1. **Мищеряков С.В.** Основные направления развития человеческого капитала в энергетике // Вестник университета. 2014. № 14. С. 337–341.
2. **Орлова Л.Н., Полтарыхин А.Л., Сизова Ю.С., Николаев С.В.** Особенности институциональной системы подготовки кадров для обеспечения конкурентоспособности национальной экономики (на примере электроэнергетики) // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2020. Выпуск 3. С. 352–354.
3. **Лялин А.М., Зозуля А.В., Еремина Т.Н., Зозуля П.В.** Современные тенденции подготовки специалистов в области инжиниринга // Вестник Евразийской науки, 2020 № 2. С. 52.

М.А. Сидорова, студ.;
рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АВАРИИ НА ТЭЦ-3 В Г. НОРИЛЬСКЕ

Авария на ТЭЦ-3 в г. Норильск произошла 29 мая 2020 года. Основными причинами данного происшествия явились технические, организационные и прочие факторы, такие как:

- оседание основания резервуара, построенного в советское время, приведшее к разрыву корпуса;
- установка и конструкция свай, часть из которых были короче проектной длины и заглублены в скальную породу, но опирались на многолетнюю мерзлоту;
- дефекты строительного производства, ухудшившие напряженно-деформированное состояние железобетонного свайного основания;
- некачественный контроль за эксплуатацией сооружений со стороны ответственных лиц;
- нарушение требований при проведении экспертизы промышленной безопасности.

В результате утечки более 21 тыс. тонн дизельного топлива разлилось далеко за пределы промышленной зоны: из них 2 тыс. тонн попало в грунт и 19 тыс. тонн — в природные водные объекты [1].

Постановление Правительства классифицирует чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера на 6 типов по масштабам последствий [2]. Исходя из этого, авария на ТЭЦ-3 г. Норильск могла бы относиться к чрезвычайным происшествиям муниципального характера, однако, в соответствии со стратегией развития Арктической зоны [3], учитывающей социально-экономические и экологические особенности региона, аварии был присвоен уровень федеральной чрезвычайной ситуации.

Авария на ТЭЦ-3 в г. Норильск нанесла крупнейший урон окружающей среде и показала, что необходимо в будущем выполнять ряд следующих мероприятий: усилить роль государственной экологической экспертизы; модернизировать и развивать экологически безопасные технологии; экономически и технологически мотивировать компании предотвращать разливы с помощью штрафов и финансовой ответственности; усилить роль Ростехнадзора; при транспортировке, хранении нефтепродуктов запретить использовать резервуары сверх эксплуатационного срока [1].

Литература

1. **Коновалова В.М.** Норильский разлив // Молодой ученый. 2020. № 46 (336).
2. **Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304** «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
3. **Указ Президента РФ от 26.10.2020 г. № 645** «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

Д.Д. Гуляев, студ.; рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

Международная шкала ИНЕС разделяет радиационные события по опасности последствий на 7 значимых уровней [1]. Вместе с ней в Российской Федерации действует классификация, разделяющая чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера на 6 типов по масштабу последствий [2], а также установлены критерии по сбору и обмену информацией в области защиты населения и территорий [3]. В таблице проанализированы одиннадцать радиационных событий в соответствии с обеими классификациями.

Таблица. Значимость радиационных событий по двум классификациям

Инцидент или авария	Год	Уровень по ИНЕС	Масштаб по ПП N 304
Авария на Белоярской АЭС	1992	Третий	Локальный
Инцидент на Кольской АЭС	1993	Третий	Локальный
Авария на Ленинградской АЭС	2004	Четвёртый	Муниципальный
Авария на Чернобыльской АЭС	1986	Седьмой	Федеральный
Авария на АЭС Фукусима-1	2011	Седьмой	Федеральный
Авария на АЭС Три-Майл-Айленд	1979	Пятый	Федеральный
Авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О	1980	Четвёртый	Локальный
Авария на АЭС Энрико Ферми	1966	Четвёртый	Локальный
Инцидент на АЭС Ванделлос	2004	Второй	Локальный
Авария в центре радиационной стерилизации во Флёрусе	2006	Четвёртый	Локальный
Инцидент на АЭС Ванделлос	1989	Третий	Локальный
Инцидент на Игналинской АЭС	1991	Третий	Локальный

Исходя из приведенных в таблице данных, можно заключить, что значимость чрезвычайных ситуаций, оцененных по двум классификациям, не коррелируют между собой, а для прогноза и оценки экологических последствий, возникающих при радиационных событиях, требуется разработка дополнительных критериев.

Литература

1. **INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual.** Vienna: IAEA, 2013.
2. **Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304** «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
3. **Приказ МЧС России от 05.07.2021 № 429** «Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера».

А.Н. Зенин, студ.; рук. А.С. Ванин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТРОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМЫ

Исследование влияния человеческого фактора на надежность и безопасность трансформаторов является актуальной задачей в энергетической отрасли. Поскольку человеческий фактор является основной причиной отказов в электроэнергетических системах [1], его необходимо учитывать при разработке мер по повышению надежности и безопасности.

В статье проводится анализ данных об отказах трансформаторов с целью выявления влияния человеческого фактора на общую надежность и безопасность энергосистемы. Рассматриваются различные аспекты, включая типы и количество отказов, связанных с человеческим фактором, а также их последствия.

В процессе анализа уделяется большое внимание не только регистрации фактов отказов, связанных с человеческим фактором, но и оценке их влияния на общую работоспособность и безопасность системы [2]. Ожидается, что результаты исследования позволят сформулировать рекомендации по улучшению процессов обучения и контроля персонала. Кроме того, предполагается, что учет человеческого фактора в проектировании и эксплуатации трансформаторов способствует повышению их надежности и обеспечению безопасности энергосистемы.

Данные выводы подчеркивают, что основной целью исследования является не только выделение роли человеческого фактора в надежности трансформаторов, но и предложение конкретных шагов по оптимизации этой роли с целью улучшения общей надежности и безопасности энергосистемы.

Расширение перспектив исследования включает рассмотрение влияния технологических инноваций и автоматизированных систем на трансформаторы, создавая полную картину факторов, определяющих надежность энергосистем. Это открывает новые перспективы для совершенствования энергетической инфраструктуры в современных условиях.

Литература

1. **Якубова Д.К., Хуснутдинов А.Н., Лазарев П.С.** Анализ характеристик обеспечения надёжности и причин отказов силовых трансформаторов // МНТК «ИМТОМ — 2022» — Том Часть 2. — С. 263–267.
2. **Doostan, M., & Chowdhury B.H.,** (2017). Power distribution system fault cause analysis by using association rule mining. *Electric Power Systems Research*, 152, 140–147.

А.В. Носков, студ.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В современном энергетическом комплексе безопасность является приоритетной задачей, требующей постоянного совершенствования методов и технологий. Применение 3D-моделирования в контексте обеспечения техногенной безопасности в электростанциях является одним из перспективных направлений развития данной области.

Использование 3D-моделей в электростанциях позволяет проводить точный и достоверный анализ структурных элементов и пространственных параметров. Это позволяет выявить потенциальные угрозы, такие как несоответствие конструктивных элементов нормативным требованиям, неэффективное распределение нагрузок и несоблюдение правил эксплуатации.

На основе анализа полученных данных можно разрабатывать оптимальные меры по предотвращению аварий, такие как укрепление или реконструкция конструктивных элементов, оптимизация режимов работы и внедрение новых систем безопасности.

Виртуальные тренировки на 3D-моделях позволяют эффективно обучать персонал реагировать на различные аварийные ситуации. Это позволяет повысить квалификацию персонала и снизить риск человеческого фактора, который является одной из основных причин аварий на электростанциях.

Экономический аспект также играет важную роль в оценке эффективности применения 3D-моделирования. Внедрение современных технологий может снизить затраты на регулярные проверки и обслуживание, а также сократить время простоя электростанции при проведении ремонтных работ.

Таким образом, применение 3D-моделирования в обеспечении техногенной безопасности в электростанциях является эффективным инструментом, который позволяет повысить эффективность и безопасность эксплуатации электростанций.

Литература

1. **Каратаев А.А., Смирнов В.А., Шапошников А.А.** Применение 3D-моделирования для оценки риска аварий на атомных электростанциях // *Безопасность в техно-сфере.* 2022. № 1. С. 3–10.
2. **Михеев А.В., Гаврилова Е.А., Лаптев А.В.** Применение 3D-моделирования для оценки последствий аварий на ТЭЦ // *Технологии техносферной безопасности.* 2022. № 2. С. 11–17.

О.И. Шлапак, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ РИСКА ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ (НАДЗОРА) И МУНИЦИПАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Одним из приоритетных направлений в осуществлении риск-ориентированного подхода является разработка и постоянное совершенствование индикаторов риска. Использование наиболее действенных индикаторов риска позволит повысить эффективность в осуществлении контрольно-надзорной деятельности федеральными органами.

В настоящее время ведется разработка новых индикаторов риска на федеральном уровне и на момент 31 декабря 2022 г. их насчитывалось 187, а до конца 2023 г. планируется довести это число до 377. В результате этого, одной из главных тенденций 2023 г. является рост внеплановых проверок по индикаторам риска. Так в 2023 г. за 8 месяцев проведено в 6,8 раз больше проверок по индикаторам риска, чем за весь 2022 год [1].

С одной стороны, увеличение количества внеплановых проверок, вызванные срабатыванием индикаторов риска, приводят к снижению количества нарушений обязательных требований на контролируемых объектах. С другой стороны, чрезмерно большое количество внеплановых проверок, противоречит одной из основных целей реформы контрольно-надзорной деятельности, а именно снижение административной нагрузки на подконтрольные объекты. Таким образом, для разработки и внедрения индикаторов риска необходимо выполнение соответствия критериям оценки индикаторов риска, сформированные экспертами, а также их действенность на практике. Под действенностью стоит подразумевать количество выявленных нарушений от количества сработанных индикаторов риска. При этом, разработанный индикатор риска, не должен излишне часто срабатывать, тем самым увеличивая нагрузку на подконтрольные объекты и на контролирующие органы, но в тоже время индикатор риска не должен срабатывать редко.

При разработке и внедрении новых индикаторов риска предлагается производить учет количества работников отдельного федерального органа, осуществляющих контрольную деятельность, а также разрабатывать индикаторы риска с выбором оптимальных отклонений по показателям, чтобы не увеличивать нагрузку как на контролирующие органы, так и на контролируемые объекты.

Литература

1. **Вдовин, А.В.** Форум контрольных органов — 2023. Индикаторы риска. [Электронный ресурс] URL: <https://fko2023.spb.ru/>.

*А.М. Шомахов, студ.;
рук. В.И. Пименов, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕФОРМА КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАДЗОРА

В связи с общими реформами и совершенствованием работы органов контрольно-надзорной деятельности есть необходимость проанализировать и рассмотреть их влияние на область государственного контроля в области энергетики.

Проводимая реформаторская деятельность направлена на оптимизацию процессов контроля и регулирования [1]. В рамках энергетического надзора стоит сконцентрировать внимание на реализации сохранной эксплуатации составляющих энергосистемы.

Действенным является индикативный метод, отражающий нарастающую вероятность наступления конкретного неблагоприятного сценария по определенным критериям. На данный момент требуется большее количество индикаторов риска для объективной оценки состояния энергетических предприятий и принятия своевременных мер для ликвидации вероятных нарушений. Для более исчерпывающего анализа общей картины следует также применять методы анализа иерархий, и нечетких множеств [2].

Обезопасить же сферу энергетики посредством энергетического надзора позволяет использование разного вида профилактических инструментов и внедрение комплексной профилактики, как системы мер, направленных на предотвращение возможных рисков. Закон № 248-ФЗ содержит семь видов подобных мероприятий: профилактический визит; информирование; обобщение правоприменительной практики; меры стимулирования добросовестности; объявление предостережения; консультирование; самообследование.

Необходимо углубить, конкретизировать требования, критерии оценки и проверок энергетических объектов. Требуется выработка единой системы обеспечения их безопасности с целью повышения их общей эффективности посредством исключения неблагоприятных аварийных сценариев.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 г. № 806** «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»
2. **И.С. Заславский, Е.Э. Каргашова, И.Н. Паскарь.** Методы оценивания энергетической безопасности объектов энергосистемы — 2021 — с. 299–300.

А.К. Бессонова, студ.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА

1 марта 2022 года в ТК РФ были внесены изменения, обусловленные реформированием системы охраны труда и переходом от реагирования на случившееся событие к его предотвращению. Приоритет новой концепции — превентивный подход, системное выявление опасностей и снижение уровня профессионального риска. Министерством труда и социального развития РФ были выпущены рекомендации по обнаружению опасностей и рекомендации по выбору методов оценки профессиональных рисков. Они дополнили уже имеющиеся государственные стандарты в области оценки риска и безопасности труда. Несмотря на существование регулирующих документов, до сих пор не разработан метод оценки рисков, учитывающий и вероятность травматизации, и вероятность получения работником профессионального заболевания.

Одна из сложностей этой задачи заключается в недостатке данных о здоровье работника. Специалист по охране труда может ознакомиться только с итогами медицинского осмотра: допуском к работе, направлением на дополнительное обследование, наличием временных или постоянных медицинских противопоказаний. Изменить подход к оценке здоровья работника возможно с помощью формирования групп риска развития профессиональных патологий по результатам медицинского осмотра.

Согласно [1] работник должен быть отнесен к одной из пяти групп риска развития профессионального заболевания. Этот параметр является более информативным, так как учитывает не только данные анамнеза и медицинского осмотра, но и класс условий труда, стаж, возраст. В 2023 году реализуется пилотный проект по предупреждению профессиональных заболеваний и созданию системы мониторинга состояния здоровья работников [2], в рамках которого данная методика прошла апробацию.

Литература

1. Методические рекомендации по формированию групп риска развития профессиональных заболеваний на основе результатов предварительных и периодических медицинских осмотров — Текст: электронный // ФГБНУ «НИИ МТ». — URL: https://irioh.ru/doc/scie-report/MR_gruppy_riska_s_oformleniem_podpisan.pdf (дата обращения: 15.11.2023).
2. **Постановление Правительства РФ от 18.03.2021 № 401** «О реализации пилотного проекта по организации межведомственного взаимодействия в целях предупреждения профессиональных заболеваний и создания системы мониторинга состояния здоровья работников».

С.А. Ли, студ.; рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ХАРАКТЕРИСТИКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

Наиболее значимые чрезвычайные ситуации, возникающие на гидротехнических сооружениях, обусловлены гидродинамическими авариями. В результате разрушения плотины образуется волна прорыва, которая может превышать 10 м и двигаться со скоростью 25 км/ч [1]. В Российской Федерации гидротехнические сооружения подразделяют на 4 класса в зависимости от опасности возможных аварий [2]. Одновременно с утвержденными критериями опасности к тем же самым объектам применяется классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, которая разделяет ситуации на 6 типов по масштабам последствий [3]. Крупнейшие гидродинамические аварии были проанализированы в соответствии с обеими классификациями, и результаты представлены в таблице.

Таблица. Уровень опасности крупнейших гидродинамических аварий на гидротехнических сооружениях

Авария	Год	Класс опасности сооружений	Масштаб чрезвычайной ситуации
Водоохранилище Мёнезе	1943	Второй	Федеральный
Электростанция Шелкопфа	1956	Второй	Федеральный
Плотина Вайонт	1963	Первый	Федеральный
Дамба Баньяо	1975	Первый	Федеральный
Плотина Тетон	1976	Второй	Федеральный
Тирлянское водохранилище	1994	Третий	Межмуниципальный
ГЭС Бьедрон	2000	Второй	Муниципальный
Саяно-Шушенская ГЭС	2009	Первый	Межрегиональный

Использование этих классификаций не позволяет получить полное представление о возможных последствиях аварий и, соответственно, разработать и осуществить превентивные меры по проведению аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ, направленных не только на спасение людей и материальных ценностей, но и на сохранение природной среды. Разработка дополнительных критериев оценки и прогноза экологических последствий является актуальной задачей.

Литература

1. **Кучемханов И.Р.** Гидротехнические сооружения: угрозы и меры по обеспечению безопасности // Промышленная охрана труда. 2019. № 11(152).
2. **Постановление Правительства РФ от 05.10.2020 №1607** «Об утверждении критериев классификации гидротехнических сооружений».
3. **Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304** «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Е.Н. Лукина, студ.;
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕСРОНАЛ

Работа посвящена исследованию вредных и опасных производственных факторов, действующих на электротехнический персонал. На первом этапе исследований был сформирован перечень потенциально вредных и опасных факторов, для которого проведен обзорный анализ исследований характера и последствий воздействия различных факторов, результаты которого представлены в таблице.

Таблица. Вредные и опасные факторы для электротехнического персонала

Наименование фактора	Тяжесть последствий	Характер и последствия воздействия
Повышенные уровни электростатического электричества, электромагнитных излучений	Средняя	Развитие сердечно-сосудистых заболеваний, изменения в ЦНС [1]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи	Высокая	Удар электрическим током [2]
Электрическая дуга	Высокая	Ожоги всех степеней тяжести, негативное влияние на орган зрения
Повышенные уровни шума, вибрации	Средняя	Влияние на органы слуха, развитие виброболести [3]
Подвижные и вращающиеся части оборудования и механизмов	Средняя	Травмы различной степени тяжести
Расположение рабочей зоны на высоте 1,8 м и выше	Средняя	Вероятность падения работника, получение травм

Проведенный анализ позволил выявить следующий перечень наиболее опасных для электротехнического персонала факторов: повышенное значение напряжения в электрической цепи и влияние электрической дуги.

Литература

1. **Шибекво Ю.В.** Влияние статического электричества на организм человека // Литье и металлургия 2018: БНТУ, 2018.
2. **Тимергазина А.Р.** Особенности влияния электрического тока на человека // «Молодёжь и наука», 2021. № 7.
3. **Сафонов В.И.** Оценка вредного воздействия производственного шума и вибрации на здоровье человека // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля, 2022. № 3(57).

Ю.А. Фионин, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

На текущий момент в соответствии с Концепцией Цифровой Трансформации 2030 все отрасли экономики активно внедряют цифровые технологии, и контрольные (надзорные) органы в лице Федеральных служб (агентств) не являются исключением.

В рамках исследования проведен анализ основных направлений цифровизации контрольно-надзорной деятельности в электроэнергетике, в ходе которого выявлены следующие недостатки.

Старая инфраструктура. Большой объем устаревших систем контроля и наблюдения, которые не поддерживают цифровые возможности. Замена такой инфраструктуры является сложной и дорогостоящей задачей.

Интеграция различных систем. Интеграция различных систем контроля и наблюдения, работающих на разных протоколах и платформах, является сложной задачей из-за несовместимости и различных форматов данных.

Большой объем данных. В электроэнергетике генерируется огромное количество данных, которые требуют обработки и анализа. Управление и хранение такого объема данных может быть вызовом и поиском решений для систем контроля и наблюдения.

Кибербезопасность. Цифровизация повышает риск кибератак и несанкционированного доступа к системам. Обеспечение безопасности данных и защита от киберугроз становятся приоритетными задачами.

Обучение персонала. Внедрение новых цифровых технологий требует обучения персонала, чтобы они могли эффективно работать с новыми системами контроля и наблюдения. Недостаток квалифицированных специалистов и необходимость переквалификации основной вызов в рассматриваемом вопросе.

Для поиска решения данных проблем выполнено их детальное рассмотрение с учетом особенности электроэнергетической отрасли. По результатам исследования сформированы предложения по модернизации инфраструктуры, разработке стандартов и протоколов для интеграции систем, обеспечению кибербезопасности, использованию аналитики данных для более эффективного управления и обучение персонала.

Литература

1. Абдрахманова Г. И., Васильковский С. А., Вишневский К. О., Гершман М. А., Гохберг Л. М. и др.; рук.авт. кол. Рудник П.Б. Цифровая трансформация: ожидания и реальность // Издательский дом ВШЭ, Москва, 2022.

*Е. О. Куприков, студ.;
рук. А. В. Мордвинова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

О СИСТЕМЕ СБОРА АВАРИЙНЫХ ПРОЛИВОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАЖЕРКАХ

Пожары и взрывы на промышленных предприятиях, могут возникнуть в итоге аварийного выхода горючих веществ из технологического оборудования и трубопроводов. Технологическое оборудование и связанные с ним технологические процессы должны разрабатываться так, чтобы предотвратить возможность взрыва и (или) пожара при регламентированных значениях их параметров при нормальном режиме работы [1]. С целью предотвращения возникновения пожаров и взрывов, их локализации и снижения тяжести последствий, необходимо предусмотреть мероприятия, направленные на предотвращение разгерметизации технологического оборудования, предотвращение возникновения потенциальных источников зажигания вблизи мест возможных утечек пожаровзрывоопасных сред, а также мероприятия, направленные на безопасный дренаж оборудования, организованный сбор аварийных проливов, отвод горючих веществ от аварийного участка и тушение пролитых веществ в случае их воспламенения.

Учитывая высокую вероятность взрыва газопаровоздушных смесей при аварийных проливах, во избежание разрушения конструкций производственных зданий и увеличения масштабов аварии, пожаровзрывоопасное технологическое оборудование, как правило, следует размещать на открытых площадках и технологических этажерках в составе наружных установок. Вопросы анализа условий возникновения и развития пожара при разгерметизации технологического оборудования на технологических этажерках являются крайне важными для разработки защитных мероприятий. С учетом параметров истечения горючих веществ, определяемых расчетными методами согласно ГОСТ Р [2] и Методики [3], могут быть определены характеристики системы сбора проливов, позволяющей за счет отвода опасных веществ минимизировать опасные факторы возможного пожара. Также в составе данной системы могут предусматриваться различные защитные устройства, в том числе огнепреграждения и подавления горения.

Литература

1. **Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ** «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. **ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ.** Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404.

Я.А. Мамаев, студ.; рук. А.М.Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТОВ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИЗ ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Средства индивидуальной защиты (далее — СИЗ) являются необходимым компонентом обеспечения безопасности труда, предназначенным для защиты работников от вредных и опасных факторов на производстве. С 1 сентября 2023 года действуют новые правила и нормы выдачи (СИЗ) [1, 2].

Высшие учебные заведения включают различные структурные подразделения, в которых помимо профессорско-преподавательского состава, есть рабочие профессии, для которых также необходимо предусмотреть обеспечение СИЗ.

Согласно новым Правилам выдачи СИЗ [1] на основании результатов специальной оценки условий труда и результатов оценки профессиональных рисков, работодателю для обеспечения работников СИЗ необходимо разработать следующие локальные нормативные акты:

1. Нормы бесплатной выдачи СИЗ и смывающих средств, включающие в себя:
 - Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты по профессиям (должностям);
 - Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты в зависимости от идентифицированных опасностей;
 - Единые типовые нормы выдачи дерматологических средств индивидуальной защиты и смывающих средств.
2. Порядок обеспечения работников СИЗ, включающий в себя:
 - Планирование потребности в СИЗ, включая подбор СИЗ;
 - Обеспечение работников СИЗ (выдача, эксплуатация, хранение, уход (обслуживание), вывод из эксплуатации);
 - Контроль за обеспеченностью работников СИЗ и их применением.

Заключение работы подводит итоги разработки локальных нормативных актов и делает выводы о значимости их внедрения для обеспечения безопасности труда. Работа также содержит рекомендации по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения СИЗ и адаптации разработанных актов к изменяющимся требованиям и законодательству.

Литература

1. **Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 766н** «Об утверждении Правил обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами».
2. **Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N767** «Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств».

Р.М. Нагиев, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Одним из факторов, воздействующих на человека и биологические объекты, является воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Проблема воздействия ЭМП является глобальной, так как в настоящее время существует большое количество источников ЭМП. В частности, одним из источников является размещение в новых многоэтажных зданиях на первом этаже трансформаторы.

Лица, подвергающиеся воздействиям ЭМП промышленной частоты (ПЧ), испытывали головную боль, повышенную раздражительность, утомляемость, вялость и сонливость, а также жаловались на нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. Неврологические нарушения проявлялись в повышении сухожильных рефлексов, треморе век и пальцев рук, снижении корнеальных рефлексов и асимметрии кожной температуры. Также при эпидемиологических исследованиях у персонала, обслуживающих электроустановки, генерирующие ЭМП ПЧ, увеличивается риск развития лейкемии и опухоли мозга.

В работе были рассмотрены наиболее эффективные методы защиты от ЭМП ПЧ в жилых помещениях. Различают активную и пассивную защиты. На активную защиту практически невозможно повлиять. Существует три вида пассивной защиты — защита от ЭМП ПЧ осуществляется путём ограничения времени воздействия, увеличением расстояния и экранирования. Расстояние невозможно изменить, так как санитарно-защитная зона была рассчитана на стадии проектирования сооружения. Время пребывания невозможно изменить по тем причинам, что человек находится большую часть времени в своем доме. Наиболее эффективный способ защиты при любых условиях — экранирование.

Предлагается для защиты населения от магнитных полей использовать магнитные экраны, как наиболее эффективный способ защиты от ЭМП ПЧ.

Литература

1. **Рубцова Н.Б.** Обеспечение электромагнитной безопасности производственной и окружающей среды. Проблемы и перспективы / Н.Б. Рубцова, Ю.П. Пальцев, Л.В. Походзей, А.Ю. Токарский, М.Л. Леонов // Известия Самарского научного центра РАН. — 2009. — Т.11. — №1(6). — С. 1366–1369.
2. **Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю.** Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. — 2-е изд., перераб. — Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 508 с. ISBN 978-5-9729-0320-7

А.В. Матыцин, студ.; Н.В. Васильева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТНИКА

Основным принципом эргономической оценки рабочего места является определение его соответствия антропометрическим данным, физиологическим и психфизиологическим особенностям человека. Одним из факторов в эргономической оценке является умственный стресс, характеризующийся любым внешним воздействием на умственное состояние человека.

В таблице 1 представлен фрагмент анализа критериев оценки факторов трудового процесса на примере показателей напряженности (интеллектуальные нагрузки) и адекватности умственной нагрузки [1,2].

Таблица 1. Сравнительный анализ критериев оценки умственной нагрузки работника

Название нормативного документа	Факторы трудового процесса	Оцениваемые показатели
ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019 [1]	Умственный стресс, умственное напряжение	Ситуационные воздействия: рабочие требования, социальные факторы Индивидуальные характеристики: отношение к работе, стрессоустойчивость, способности, навыки, знания, опыт
Приказ N 33н [2]	Напряженность трудового процесса (интеллектуальные нагрузки)	Содержание работы Восприятие сигналов и их оценка Распределение функций по степени сложности задания Характер выполняемой работы

Показатели, оцениваемые при проведении СОУТ позволяют определить большую часть эргономических факторов, за исключением: антропометрических признаков, параметров производственного оборудования и рабочего места и функционального состояния человека.

Целесообразно дополнить критерии оценки напряженности на основе тех показателей, которые представлены в ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО 10075-1-2019** Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 1. Основные понятия, термины и определения.
2. **Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. №33н** «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда».

К.П. Тюменцева, студ.;
рук. Е.А. Гришина, к.э.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)

РЕАЛИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ КАК МЕТОД ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

За последнее столетие динамичное развитие мировой экономики оказало существенное влияние на изменение климата посредством увеличения выбросов парниковых газов в атмосферу.

Российская Федерация взяла на себя обязательство достичь углеродной нейтральности к 2060 году, ввиду чего за последние три года был принят ряд нормативно-правовых документов, выступающих ориентиром деятельности предприятий в стране. Тема изменения климата неразрывно связана с энергетическим сектором, а в рамках принятого законодательства у энергетических компаний появилась возможность реализовывать климатические проекты, вырабатывая углеродные единицы и затем засчитывая их на свой счет для выполнения квоты по Сахалинскому эксперименту, либо продавая на созданном углеродном рынке, получая дополнительную прибыль и повышая ESG-рейтинг.

В настоящее время энергосистема Кемеровской области представлена 13 тепловыми электростанциями, суммарная выработка которых по состоянию на 01.01.2022 г. составила 18 647 млн. кВтч [1]. Большая часть станций, в силу специфики региона, работает на каменном угле, значительным образом ухудшая экологическую ситуацию Кузбасса.

В исследовании рассматривается декарбонизация Кемеровской области путем реализации климатического проекта в рамках возобновления строительства Крапивинской ГЭС компанией ПАО «РусГидро».

Базовая линия выбросов соответствует действующему значению углеродного следа в области, а проектная определяется с учетом оценки доли выработки вводимой электростанции в суммарной выработке энергосистемы региона в ежегодной перспективе. Эффект достигается соответствующим потенциальным снижением эмиссии диоксида углерода, выраженным в тоннах CO₂.

Полученные результаты позволят дать оценку целесообразности реализации данного проекта, как с экологической точки зрения, так и с экономической, посредством конвертации полученных углеродных единиц в денежный эквивалент, согласно их рыночной стоимости.

Литература

1. **Распоряжение Губернатора Кемеровской области — Кузбасса от 29.04.2022 №78-рг «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области — Кузбасса на 2023–2027 годы.**

И.А. Коротовская, студ.;
рук. Е.А. Гришина, к.э.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИКИ: ЭФФЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В условиях глобального изменения климата возникает актуальность реализации программы по сокращению выбросов парниковых газов.

Стационарные источники загрязнений, входящие в состав топливно-энергетического комплекса, согласно Федеральному закону № 219-ФЗ подлежат оснащению системами автоматического контроля выбросов (САКВ), которые собирают информацию о параметрах выбросов и передают ее государственным надзорным органам.

Необходимость внедрения САКВ на энергетических предприятиях обусловлена не только требованиями законодательства, но и рядом положительных эффектов, например:

- 1) **Экологический эффект:** выявление отклонений от нормативных показателей загрязняющих веществ в атмосфере способствует реализации мер по улучшению экологической ситуации;
- 2) **Технологический эффект:** САКВ позволяет контролировать также содержание газов в продуктах сгорания, характеризующих завершенность процессов выгорания топлива, и выполняет контроль дополнительных рабочих параметров, характеризующих эффективность работы котла [2];
- 3) **Экономический эффект:** снижение расхода топлива на единицу произведенной электроэнергии, уменьшение затрат на его приобретение и снижение затрат на оплату штрафов и компенсаций за ущерб, причиненный окружающей среде;
- 4) **Инновационный эффект:** контроль промышленных выбросов, способствуя развитию мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, дает также возможность предприятиям выйти на развивающийся рынок углеродных единиц.

В исследовании будет приведена оценка экономической эффективности внедрения и применения систем автоматического контроля выбросов на дымовой трубе тепловой электростанции.

Литература

1. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.07.2014 № 219-ФЗ.
2. **Кондратьева О.Е.** Научно-методические основы разработки и внедрения систем непрерывного контроля и учета выбросов тепловых электростанций: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. НИУ МЭИ, Москва, 2017.

П.А. Ядыкин, студ.; рук. А.С. Козодаев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПАР ДЛЯ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИИ

Наиболее распространенными методами электрохимической очистки загрязненных сточных вод являются электрокоагуляция, электрофлотация и гальванокоагуляция.

На сегодняшний день актуальной проблемой для электрофлотации и электрокоагуляции является пассивация электродов. Это процесс образования на аноде тонкой плёнки с высоким сопротивлением. Можно избежать данного процесса путём применения нерастворимых электродов (из графита), однако это резко снижает эффективность процесса, так как не образуются гидроксиды, обладающие коагуляционными и сорбционными свойствами [1].

Метод гальванокоагуляции основан на использовании эффекта короткозамкнутого гальванического элемента. Таким образом, необходимым условием эффективного проведения процесса очистки сточных вод методом гальванокоагуляции является перемешивание элементов гальванопары. В качестве элементов гальванической пары чаще всего используют следующие: Fe–Cu, Fe–C (кокс), Mg–C, Al–C и др.

При контакте разнородных частиц образуется короткозамкнутый гальванический элемент, в котором происходит растворение более электроотрицательного металла. При этом образуется коллоидный гидроксид, который выступает в качестве высокоэффективного реагента и адсорбента. Незначительные расстояния между частицами способствуют повышению плотности тока, что наряду с развитой поверхностью частиц способствует интенсификации растворения металла [2].

В ходе гальванокоагуляции одновременно протекают следующие физико-химические процессы: катодное восстановление и осаждение ионов металлов, образование гидроксидов металлов, сорбция примесей на свежесформированных поверхностях, коагуляция.

Данный метод является перспективным для применения в процессах водоочистки, однако необходимо проанализировать большое количество гальванопар, которые составляют основу очистки воды, для выбора оптимального варианта.

Литература

1. **Рерих В.А., Ельгищева Д.Д., Рыльева Е.М.** «Электро- и гальванокоагуляционные установки: преимущества и недостатки» // *Инновационные наукоемкие технологии*. — г. Тула: «Инновационные технологии», 2018. — С. 33–36.
2. **Назаров В.Д., Фурсов С.В.** «Гальванокоагулятор для очистки сточных вод от тяжелых металлов» // *Башкирский химический журнал*. — 2013. — № 3. — С. 112–116.

Направление VI

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

Economics and management

Руководитель направления:

Заведующий кафедрой

менеджмента в энергетике

и промышленности НИУ «МЭИ»

к.э.н., доцент

Кетоева Наталья Леонидовна

Секция 29

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ

General issues of the economy

Председатель секции: д.э.н., доцент Сухарева Евгения Викторовна

Секретарь секции: Коновалова Оксана Геннадьевна

П. Коренюгина, студ.; рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БИЗНЕС-ПЛАНА

Цифровизация играет важную роль при разработке бизнес-плана в современной деловой среде. Технологии развиваются в стремительном темпе, потому компании, не учитывающие инновации в своих бизнес-планах, рискуют отстать от конкурентов. Цифровые технологии представляют для компаний новые возможности для роста и развития: повысить эффективность производства, оптимизировать расходы и улучшить взаимодействие с клиентами.

Целью исследования является изучение и анализ влияния цифровизации на процесс разработки бизнес-плана. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи: изучить основы цифровизации и ее влияние на современный бизнес; проанализировать роль цифровых инструментов в разработке бизнес-планов.

Цифровизация из простого метода улучшения разных частных сторон жизни превращается в драйвер мирового общественного развития, обеспечивающий повышение эффективности экономики и улучшение качества жизни [1]. Благодаря цифровому маркетингу, компании могут эффективно взаимодействовать с клиентами через различные онлайн-каналы и повысить вовлечённость пользователей. Интернет вещей и искусственный интеллект позволяют современным технологиям улучшить качество продукции, сократить время производства и снизить затраты.

По данным НАМИ, доля пользователей мобильного банкинга выросла до 70%. Такая высокая доля свидетельствует о том, что мобильные приложения для банков стали неотъемлемой частью нашей жизни. Многие операции можно сделать без визита в банк, что упрощает жизнь пользователей. Кроме того, мобильный банкинг сопровождается высокими стандартами безопасности, которые защищают финансовые данные пользователей.

Цифровые инструменты играют важную роль в разработке бизнес-планов, обеспечивая удобство, эффективность и точность в процессе планирования. Цифровые инструменты значительно улучшают процесс разработки бизнес-планов, обеспечивая более точные данные, удобство работы, эффективность, возможность визуализации и презентации бизнес-идей. Они являются неотъемлемой частью развития современного бизнеса и позволяют компаниям быть более гибкими и конкурентоспособными.

Литература

1. **Халин В.Г.** Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: прелющества, вызовы, угрозы и риски // Управленческое консультирование, 2018 г.

*М.Е. Николаев, студ.;
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ

В текущее время динамика мировых фондовых и биржевых площадок неоднозначна. Проблемы в области логистики, повышение стоимости энергоресурсов до исторических максимумов, а также существенный рост инфляции и процентных ставок по всему миру оказывают влияние на инвесторов, осуществляющих финансовые инвестиции. На крупнейших мировых фондовых рынках наблюдается V-образная динамика. На конец 2022 года можно было говорить о том, что сформирован «медвежий» тренд, который характеризуется падением цен на активы более чем на 20%. Являющийся эталонным, индекс S&P 500 продемонстрировал снижение с исторического максимума в 4818,62 пунктов более чем на 25,8%. Индекс МосБиржи, в свою очередь, потерял в цене более 46,5% с пиковых значений. Однако с начала 2023 года наблюдается существенный рост рынков, несмотря на резкий подъем процентных ставок всеми центральными банками мира, и другие серьезные проблемы в экономиках стран. Так, например, индекс МосБиржи вырос более чем на 64% относительно нижней точки в октябре 2022 года [1].

На фондовый рынок России также сильное влияние оказывает санкционное давление, экспортная часть доходов предприятий находится в зоне риска. Институциональные инвесторы по причине высокой неопределенности не спешат возвращаться на рынок ценных бумаг, а частные инвесторы более подвержены импульсивным действиям и чрезмерному вниманию к информационному полю.

Так, исходя из информации, публикуемой МосБиржей, доля физлиц в объеме торгов акциями составила 81% [2]. Отмечается значительное увеличение волатильности неликвидных ценных бумаг без каких-либо официальных объявлений или корпоративных новостей. Для борьбы с разгоном цен в июне 2023 года торговая площадка распространила действие дискретных аукционов на акции второго и третьего эшелонов [3].

Общеизвестным является факт о том, что существует прямая зависимость между ростом ВВП и положительной динамикой наиболее крупных и ликвидных компаний, торгующихся на фондовом рынке. Из чего следует, что проблемы финансовых рынков чрезвычайно актуальны.

Литература

1. Мировые индексы // Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/markets/>
2. Частные инвесторы в сентябре обновили рекорд активности на Московской бирже // Московская биржа URL: <https://www.moex.com/>
3. ЦБ анонсировал борьбу с разгонами малоликвидных акций // РБК Инвестиции. URL: <https://quote.rbc.ru>

*Ю.С. Сальникова, студ.;
рук. Л.В. Бухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ГОСУДАРСТВЕННЫХ БЮДЖЕТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Улучшение качества менеджмента в области государственного управления в значительной мере предопределяется эффективностью деятельности государственных бюджетных учреждений. Современные требования к управлению государственными финансами обуславливают необходимость проведения внутреннего аудита, а, следовательно, и внедрения в организационную структуру государственных учреждений должностных лиц или же отдельных структурных подразделений, осуществляющих внутренний аудит.

Сегодня происходит трансформация внутреннего аудита в инструмент управления рисками, наблюдается смещение акцентов от оценки отдельных хозяйственных операций к оценке рисков деятельности учреждения в целом. Особо актуальным является создание адекватных механизмов осуществления внутреннего аудита, позволяющих гарантировать эффективность управления финансовыми потоками и государственной собственностью.

Необходимость во внутренних аудиторах заключается не столько в проверке соблюдения установленных требований, сколько в консультации руководства по вопросам управления, помогающей повышать эффективность и результативность деятельности учреждения.

Внутренний аудит, как один из инструментов достижения целей устойчивого развития учреждения, является перспективным объектом исследования, привлекающим все большее внимание научного сообщества во всем мире.

Анализ исследований проблем осуществления внутреннего аудита, тем не менее, показывает, что недостаточно исследованы многие теоретические и методологические аспекты разработки и формирования системы внутреннего аудита в государственных бюджетных учреждениях, в частности существует большое количество пробелов в методологии проведения аудита достоверности бухгалтерской отчетности. В этой связи имеется заинтересованность в совершенствовании его организации и осуществления в бюджетных учреждениях.

Литература

1. **Кузнецов Н.В.** Развитие системы внутреннего аудита государственных учреждений: финансовый, стратегический и рискованный аспекты / Н.В. Кузнецов // Аудиторские ведомости. — 2022. — № 2. — С. 20–25.

Д.А. Тихонова, студ. Л.В. Бухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ

Становление и развитие внешнего государственного финансового контроля в России представляет собой длительный процесс, который берет свое начало еще в начале 2000-х годов, когда в Послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации впервые были сформулированы основные направления развития внешнего государственного финансового контроля.

Актуальность выбранной темы обуславливается тем, что на сегодняшний день идентифицирован целый ряд проблемных вопросов функционирования действующей модели финансового контроля в Российской Федерации.

Общепризнанным направлением совершенствования системы внешнего государственного финансового контроля считается разработка единой концепции государственного финансового контроля, включающей:

- 1) формирование единой системы информационного обеспечения органов государственного финансового контроля;
- 2) разработка механизма взаимодействия и разграничения полномочий между органами государственного финансового контроля;
- 3) установление порядка проведения финансового контроля органами внешнего и внутреннего финансового контроля и формирование системы мониторинга финансовых операций [1].

Стоит отметить, что в ходе исследования был выявлен еще один важный проблемный вопрос, а именно отсутствие единой нормативной правовой базы, регламентирующей систему государственного финансового контроля.

Логичным завершением проведенного исследования стало формирование перечня предложений по устранению существующих недостатков настоящей системы государственного финансового контроля. Наиболее значимыми нововведениями стали унификация стандартов подготовки и проведения контрольных мероприятий, а также внедрение и развитие риск-ориентированного подхода в деятельность субъектов государственного финансового контроля.

Литература

1. **Переладов В.С.** Основные направления совершенствования деятельности органов внешнего государственного (муниципального) финансового контроля // Форум молодых ученых. 2021. №5 (57).

М.В. Ершов, асп.; рук. Е.Н. Лейман, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОГРЕССИВНОМ БИЗНЕС-УКЛАДЕ

Развитие химической промышленности тесно связано с развитием других отраслей экономики, так как используемые технологии химической промышленности определяют свойства и качество поставляемых другим предприятиям результатов и потребляемых ресурсов. Наряду с технологическими ресурсами, используемыми непосредственно для синтеза продукции и сырья для промышленности, медицины, сельского хозяйства и т.д., предприятия химической промышленности используют для выработки тепла, электричества и света, необходимых в химических преобразованиях, энергетические (для выработки тепла и электроэнергии). Основным направлением повышения эффективности химической промышленности является снижение её ресурсоёмкости: как энергетической, так и материальной, что ведёт к повышению её конкурентоспособности. Энергетический аспект конкурентоспособности взаимосвязан с уровнем бизнес-уклада предприятия [1, 2, 3].

Анализ глобальных трендов развития энергетики: декарбонизация, децентрализация, «водородная революция», «Интернет энергии» [3] вместе с общими чертами прогрессивного бизнес-уклада наподобие производства в месте потребления, сетизации иерархий [3] и кастомизации продукции под потребности индивидуального потребителя [1] позволяют утверждать, что ключевым фактором устойчивого развития энергетики предприятий химической промышленности станет повсеместный переход к электротехнологиям при формировании новых интегрированных межотраслевых систем управления ресурсами. Вектор устойчивого развития предприятий химической промышленности должен быть определен и сонаправлен с вектором устойчивого развития энергетики.

Литература

1. **Дранко О.И.** Шестой технологический уклад: некоторые экономические сценарии для предприятий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2018. Т. 18 № 2. С. 131–141.
2. **Тульчинская Я.И., Курочкин Д.С.** Методика оценки уровня технологического уклада страны // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2013. № 5 (36). С. 20–27.
3. **Ван Л., Афанасьев В.Я., Лозенко В.К.** Трансформация структуры управления при переходе электроэнергетического комплекса Китая на новый уровень бизнес-уклада // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 3. С. 199–201.

М.А. Пермяков, асп.; рук. Е.Н. Лейман, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ МНОГОУКЛАДНЫХ БИЗНЕС-СТРУКТУР

Многоукладность бизнес-структур формируется при условии взаимодействия организаций с разным уровнем технологического оснащения, систем управления и персонала в рамках жизненного цикла различных социотехнических систем. Установление значения и управление энергоэффективностью в таких структурах затруднено из-за проблем определения локальных и глобальных факторов взаимодействия разноуровневых организаций, которые влияют на интегральную энергоэффективность всех процессов энергоиспользования исследуемого объекта. В свою очередь энергоэффективность непосредственно влияет на совокупную стоимость владения объекта управления.

Многоукладность является распространённым фактором в экономике ввиду неравномерного развития отдельных отраслей, областей знаний, конкретных организаций, доступности наилучших технологий и ресурсов, а также неравномерного развития систем менеджмента. Многоукладными является, например, электроэнергетический комплекс [1], при котором поставщики силового оборудования и генерирующие компании находятся на разном уровне бизнес-уклада [2]. Другим примером многоукладной бизнес-структуры является комплекс строительства и ЖКХ, в котором в одной цепочке жизненного цикла объекта строительства находятся высокоукладные проектные организации и низкоукладные управляющие компании. Доминирование в ЖЦ инфраструктурных низкоукладных организаций являются ограничением развития бизнес-структуры в сторону прогрессивного бизнес-уклада [3].

Предлагаемый подход к управлению энергоэффективностью многоукладных бизнес-структур заключается в установлении уровней бизнес-уклада контрагентов, определении потенциала роста энергоэффективности в процессах низкоукладных организаций, согласования направлений их совершенствования с аспектами энергоиспользования, определяемыми высокоукладными контрагентами. Преобразования стоит начинать с низкоукладных систем управления.

Литература

1. **Крыленко Е.Е.** Техническая политика как основа для оценки устойчивого развития электроэнергетического комплекса // Микроэкономика. 2019. № 2. С. 66–71.
2. **Лозенко В.К. и др.** Теория бизнес-укладов и системно-креативный подход как методологическая основа для реализации концепции устойчивого развития промышленных предприятий // Микроэкономика. 2018. № 4. С. 7–14.
3. **Ван Л.** Динамика перехода электроэнергетического комплекса Китая на новый уровень бизнес-уклада // Энергетик. 2022. № 12. С. 50–53.

*К.В. Горбунова, студ;
рук. Ю.Н. Харитонова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

АДМИНИСТРИРОВАНИЕ НДС И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕКРЕСТНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Важное место в налоговой системе большинства стран мира, занимает налог на добавленную стоимость (НДС), преимуществом которого является значительный фискальный потенциал. Несмотря на совершенствование налоговой системы РФ, на сегодняшний день остаются недостатки в организации налогового контроля.

На основе проведенного исследования, автором установлено, что начиная с 2015 года налоговая инспекция автоматизировала контроль за НДС и стала отслеживать всю цепочку товара или услуги от производителя до конечного покупателя. Благодаря внедрению системы управления рисками «АСК НДС-2» налоговые органы проводят всесторонний анализ деятельности налогоплательщика и его контрагентов. То есть система сама выявляет “налоговые разрывы” и находит выгодоприобретателя [1].

На наш взгляд, главным достоинством АСК «НДС-2» можно выделить автоматическое выявление ошибок основанные на показателях в поданных декларациях налогоплательщиками. Еще одним достоинством системы АСК «НДС-2» является то, что при проверке деклараций на корректность значений учитываются данные прикладной цифровой подсистемы «Анализ банковских документов». По запросу налоговыми органами осуществляется автоматизированный контроль движения средств по расчетным счетам с дальнейшим хранением информации из банковских выписок, что свидетельствует о контроле не только товарного потока, но и денежного [2].

Однако, на наш взгляд, при данном подходе затрачиваются большие финансовые и временные ресурсы, а количество сплошных проверок только растет. По мнению автора, целесообразнее было бы применить риск-ориентированный подход, в основе которого лежит выборочное истребование документов с использованием критериев отбора налогоплательщиков.

Таким образом, внимание ФНС необходимо сконцентрировать на максимально рискованных компаниях, а добросовестных налогоплательщиков выводить из зоны пристального контроля. Соответственно, при использовании риск-ориентированного подхода периодичность и объем проверок будут зависеть исключительно от масштабов рисков.

Литература

1. <https://glavkniga.ru> — Профессиональный электронный бухгалтерский журнал «Главная книга».
2. <https://www.nalog.gov.ru> — Официальный сайт ФНС России.

*Е.О. Коткина, студ;
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КОМПАНИИ

Для современных компаний управление дебиторской задолженностью является весьма актуальным. Ее сумма может стать причиной дефицита финансирования. Дебиторская и кредиторская задолженности являются неотъемлемым следствием системы денежных расчетов между предприятиями [1].

Дебиторская задолженность — это все, что должны предприятию другие компании, государство или клиенты-физлица. Каждый такой должник называется дебитором. Иначе говоря, дебиторская задолженность появляется, когда компания продала товар, но деньги не получила.

По данным, изученным автором, в российских корпорациях с 2016 по 2023 гг. наблюдается увеличение дебиторской задолженности. В целом по РФ она на 31.07.23 г. составила 96108,9 млрд руб., из нее просроченная — 5428,6 млрд руб., или 5,7% от общего объема дебиторской задолженности (на конец июля 2022 г. — 5,6%, на конец июля 2021 г. — 4,9%) [2].

Таким образом, дебиторская задолженность может быть опасна для компании по нескольким причинам. Во-первых, она может привести к нехватке денежных средств для текущей деятельности. Во-вторых, долги могут негативно сказаться на финансовой отчетности компании. Кроме того, долги могут привести к судебным разбирательствам. Поэтому важно для компаний разрабатывать эффективные стратегии управления дебиторской задолженностью и следить за ее состоянием.

Для снижения дебиторской задолженности автор считает целесообразным предпринять следующие меры:

1. Внедрить жесткий контроль за отгрузками товаров или оказанием услуг. Это позволит своевременно выявлять клиентов, которые не оплачивают свои счета в срок.
2. Установить жесткие сроки оплаты и штрафы за просрочку. Это может стать стимулом для клиентов оплачивать счета вовремя.
3. Вести переговоры с клиентами и предлагать им гибкие условия оплаты, например, рассрочку или частичную оплату.

Литература

1. Харитонов Ю.Н., Коноплева Е.И. Дебиторская и кредиторская задолженности как результат системы денежных расчетов. Современные наука и образование: достижения и перспективы развития: сборник материалов XXX-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, 7 июня, 2023 — Москва: НИЦ «Империя», 2023. — С. 101–104.
2. <https://rosstat.gov.ru> — Федеральная служба государственной статистики.

Е.А. Львова, студ., рук. И.Е. Ларина, доцент (НИУ «МЭИ»)

СОЦИАЛЬНАЯ ОТЧЕТНОСТЬ КАК НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ БУХГАЛТЕРСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ

В современных экономических реалиях цифровой экономики появляется необходимость в создании нового формата предоставления информации о финансово-хозяйственной деятельности экономических субъектов. Данная информация должна в полной мере удовлетворять интересы самых разных групп заинтересованных пользователей, что в полной мере невозможно только с помощью бухгалтерской (финансовой) отчетности [1].

Социальная отчетность является в своем роде связующим звеном между показателями финансовой отчетности и нефинансовой информацией о социальной ответственности бизнеса [1].

Несмотря на повышенный интерес общественности к социальной отчетности в России до сих пор не создана система государственного регулирования и единая концепция ее формирования.

Это определяет актуальность разработки методических указаний по регламенту составления социальной отчетности с учетом специфики российского законодательства.

Методика предполагает формирование структуры социальной отчетности и ее предоставления, выбор перечня и групп нефинансовых показателей, источников их возникновения, которые будут характеризовать предприятие с точки зрения социальных достижений, достижений по обеспечению кадров, достижений по защите экологии и т.д.

Также необходимо определить обязанности, кто будет собирать исходные данные для показателей, формировать и наполнять систему, определять их периодичность сбора и сроки предоставления.

Составление социальной отчетности позволяет демонстрировать насколько предприятие социально ответственное, показывая результаты не только проводимых субъектом хозяйствования благотворительных и спонсорских программ, но и любых других социально значимых сторон его деятельности, которые способствуют улучшению взаимоотношений с потребителями, государственными органами, контрагентами и другими группами общества.

Литература

1. **Алексеева И.В., Федосова О.Н., Прядкина Е.А.** Анализ современных исследований формирования социальной отчетности коммерческих организаций в условиях цифровой экономики // Учет и статистика — 2019 г.

*Я.А. Бирюлина, студ.;
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

УПРАВЛЕНИЕ ДОХОДАМИ И РАСХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Эффективное управление доходами и расходами особенно актуально в современной практике управления предприятием, так как текущая экономическая ситуация на рынке находится в нестабильном состоянии. Значительное отрицательное влияние оказало и начало специальной военной операции.

Анализ доходов и расходов организации проводится по данным Формы №2 «Отчет о финансовых результатах», в которой содержится информация обо всех видах доходов и расходов за отчетный и предыдущий периоды. Это позволяет качественно оценить характер возникновения и содержание доходов и расходов; проанализировать в динамике состав и структуру доходов и расходов, их изменение, осуществлять контроль за их движением.

По данным проведенного автором исследования можно сделать вывод, что за первый год проведения СВО выручка российских организаций сократилась в среднем на 37,5%, потеря поставщиков составила 19% [1]. В связи с чем можно выделить ряд проблем: рост цен на сырье и материалы, простои, влекущие накладные расходы и т.д. [2]. Таким образом, грамотный подход к анализу и управлению доходами и расходами является ключевым элементом для улучшения финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Исходя из вышеизложенного, автором установлено, что эффективное управление доходами и расходами организации должно быть направлено на их оптимизацию, а также является ключевым фактором для достижения финансовой стабильности и обеспечения конкурентоспособности.

Таким образом, для снижения расходов организации можно принять следующие меры:

1. Провести детальный анализ всех расходов организации, чтобы выявить области, где можно сократить затраты.
2. Оптимизация процессов: внедрение цифровых технологий может помочь сократить издержки и улучшить производительность.
3. Тщательный контроль за запасами во избежание появления излишков, которые могут привести к дополнительным расходам на хранение и утилизацию.

Литература

1. **Ткачёв И.В., Деготькова И.В.** Какой стала экономика России «РБК» // аналит. стат. — Москва, 2023.
2. <https://rosstat.gov.ru> — Федеральная служба государственной статистики.

А.А. Белова, студ.; рук. И.С. Бабич., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АНТИКРИЗИСНОМ УПРАВЛЕНИИ

В соответствии с ФЗ 127 «О несостоятельности (банкротстве)», задачей антикризисного управления является восстановление платежеспособности и недопущения банкротства. Цифровизация — это результат развития научно-технического прогресса, поэтому необходимо использовать методiku цифровых инструментов в антикризисном управлении.

Проанализировав причины цифровизации, было выявлено, что одной из них является кризисное финансовое состояние.

Были изучены подходы к оценке эффективности цифровизации [1].

Таблица 1. Подходы к оценке эффективности цифровизации

Подход	Характеристика
Традиционный	Измерение эффектов цифровой трансформации компании на основе традиционных (финансовых и (или) операционных) показателей в парадигме нецифровой эпохи
Смешанный	Измерение эффектов цифровой трансформации компании на основе традиционных (затраты на обслуживание, рентабельность инвестиций, рентабельность активов) и цифровых (эффективность внедрения цифровых технологий) показателей

В данном исследовании было принято в качестве расчёта эффекта объем затрат на НИОКР.

Существуют методики, по которым уже осуществляется управление процессом банкротства, что и было положено в основу закона «О несостоятельности (банкротстве)».

По опыту наблюдения, все методики дают противоречивый результат. Также нет адаптированных методик, применимых к энергетическим компаниям.

Все изменения, обусловленные цифровизацией, имеют стратегический характер, то есть последствия наблюдаются в долгосрочном периоде. Это не означает, что не происходит оперативных изменений эффективности, в том числе выражающихся в положительной динамике финансовых показателей, — такие изменения происходят, но, как показывает практика, необязательно всегда, что в результате приводит к ошибочным выводам о неуспехе проводимой трансформации.

Литература

1. Федеральный закон «О несостоятельности (банкротстве)» [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 26.10.2002 № 127-ФЗ (ред. от 13.07.2015). — Режим доступа: <http://consultant.ru/>

*А.А. Ковлагина, студ.;
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ НАЛОГОВЫХ ПЛАТЕЖЕЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ НАЛОГОВЫХ РИСКОВ

Налоговая оптимизация в нынешних условиях ведения хозяйственной деятельности обладает огромной значимостью, поскольку дает возможность законно уменьшить налоговую нагрузку для организаций, по сути являясь обоснованным методом снижения налоговых обязательств со стороны хозяйствующего субъекта.

В процессе изучения данного вопроса автором установлено, что оптимизация и минимизация налогов предполагают анализ деятельности предприятия и точный расчет, дающий возможность выбора компанией из нескольких альтернативных вариантов списания и учета средств и расходов, наиболее эффективного с точки зрения интересов предприятия.

На основе вышесказанного следует, что налоговая оптимизация — это комплекс методов и подходов для эффективного планирования налогов, перечисляемых в бюджет. Правильная и законная оптимизация налогов, а также прогнозирование различных рисков, помогают избежать больших убытков и сохранить стабильное положение фирмы на рынке.[1]

На наш взгляд, наиболее эффективным способом минимизации налоговых рисков является налоговое планирование, т.е. активные и целенаправленные законные действия организации с целью уменьшения налоговых платежей (налогов, сборов, пошлин и других обязательных платежей). В налоговом планировании следует соблюдать основные принципы: законность, эффективность, надежность, безвредность, минимизация затрат.

Таким образом, налоговое планирование выполняет задачу снижения налоговой нагрузки компании. Делать это можно, используя различные методы оптимизации налогообложения, как внутренние, так и внешние. При этом важно не допускать ошибок, которые могут дорого стоить компании. Также стоит учитывать, что фискальные органы совершенствуют способы контроля и уже сегодня отслеживают все цепочки по начислению налогов. Нужно искать новые подходы к налоговой оптимизации с учетом опыта других компаний и судебной практики [2].

Литература

1. **Евстигнеев Е.Н.** Налоговый менеджмент и налоговое планирование в России. М: ИНФРА-М, 2020.
2. **Харитонов Ю.Н., Ковлагина А.А.** Порядок налогового планирования в РФ. Исследование различных направлений современной науки: естественные и технические науки: сборник материалов XXVIII-ой международной очно-заочной научно-практической конференции. М: Издательство НИЦ «Империya», 2023. Т. 2.

Е.А. Филина, асп.; рук. Т.А. Шиндина, д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ МЕР ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

В мае 2023 года Правительство Российской Федерации утвердило Концепцию технологического развития страны до 2030 года, одной из основных целей объявлен переход к инновационно ориентированному экономическому росту, подразумевающий создание условий для высокоинтенсивной инновационной активности корпораций и предпринимателей. Установлены конкретные цифровые критерии, включающие такие показатели как рост уровня инновационной активности в промышленности; объёма инновационных товаров, работ и услуг; патентных заявок [1]. Объектом исследования является государственная структура управления. Цель исследования — показать необходимость разработки и развития методологической базы по оценке эффективности мер государственной поддержки, реализуемых в сфере инноваций, на примере субъекта Российской Федерации.

В 2023 году в городе Москве действует комплекс мероприятий поддержки, направленный на стимулирование инновационной деятельности, и включающий в себя как финансовые (гранты на патентование в России и за рубежом, на проведение пилотных тестирований инновационных решений, на создание городских вертикальных ферм, программы льготного кредитования, льготная аренда в технопарках) так и нефинансовые меры (академия стартапов, фабрика прототипов, сервис подбора поставщиков оборудования и др.). Однако на данный момент отсутствует методологическая база оценки эффективности реализуемых мер поддержки, в частности не определены специфические критерии оценки. Анализ проводится на основе количественных показателей (охват получателей и объем поддержки), которые не могут являться объективной основой для определения эффективности меры. Необходимо разработать систему качественных и количественных показателей, которая сможет оценивать результаты меры, ее востребованность и экономический эффект, что позволит качественно решать задачи по развитию инновационного климата в Москве.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 года №1315-р** «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» // СПС КонсультантПлюс.

А.А. Бабаян, студ.; рук. И.Е. Ларина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ СОЦИАЛЬНОЙ ОТЧЕТНОСТИ КОМПАНИИ

Актуальность разработанной методики заключается в том, что отсутствие единой концепции подготовки социальной отчетности приводит не только к росту трудозатрат на ее подготовку, но и трудностям в изучении и проведении анализа социальных отчетов стейкхолдерами [1].

Цель разработанной методики заключается в подготовке социальной отчетности, позволяющей сформировать достоверную информацию для получения представления о социальной ответственности бизнеса.

Основные положения методики: социальная отчетность предоставляется ежегодно, в ней приводятся результаты выполнения существенных задач, отражающих стратегию ее деятельности. Социальная отчетность состоит из экономического, социального и экологического разделов, в которых приведено наименований мероприятий, их общее описание, количественные и качественные характеристики. Количественные данные приводятся за три отчетных периода, сведения описательного характера раскрываются только за год. Результаты экономической деятельности представлены такими показателями, как размер инвестиций в уровень жизни региона присутствия компании, основной капитал, инновации и т.д. Результаты социальной деятельности представлены такими показателями как структура состава работников, ротация кадров, выплаты и льготы, производственный травматизм и т.д. Результаты экологической деятельности представлены такими показателями как расходы на охрану окружающей среды, инновации в указанной области деятельности и т.д. Основные сведения для составления социальной отчетности берутся из бухгалтерского и управленческого учета предприятия. В процессе составления социальной отчетности также предлагается задействовать бухгалтерию, управленческий отдел, отдел по связям с общественностью, отделы кадров, труда, управления качеством, экологии и другие подразделения [2].

Разработанная методика подготовки социальной отчетности способствует повышению качества и транспарентности раскрытия информации, а также повышает уровень удовлетворенности заинтересованных пользователей.

Литература

1. **Закирова А.Р., Клычова Г.С., Кириллова В.Э., Юсупова А.Р.** Социальная отчетность: назначение, основные принципы формирования, структура // Вестник Казанского государственного аграрного университета — 2019 г. № 1.
2. **Мурад Э.Э.** Отчетность об устойчивом развитии. актуальность, стандарты и применение на практике // Скиф. 2020. № 6 (46).

*Д.Х. Каранфил, студ.;
рук. И.С. Андросина, к.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ КАПИТАЛА В РАЗРЕЗЕ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ ЭНЕРГОКОМПАНИИ

В современных условиях российской экономики, характеризующихся усилением конкуренции, нестабильностью финансового и сырьевого рынков и связанной с этим неопределенностью, процесс оптимизации структуры капитала с целью увеличения стоимости компании приобретает особую значимость.

Процесс создания стоимости для энергокомпаний является сложным и неоднозначным из-за особенностей организации финансов отрасли. Оптимизация структуры капитала оказывает немаловажное влияние на ключевой показатель EVA, отражающий движение стоимости компании через средневзвешенную стоимость капитала. Произведем расчет данного показателя по формуле:

$$EVA = NOPAT - WACC * IC \quad (1)$$

Где NOPAT — операционная прибыль по, WACC — средневзвешенная стоимость капитала, IC — величина инвестированного капитала.

Табл. 1. Показатель EVA (рассчитано автором по данным отчётности)

Показатель	Нефтяные компании		Генерирующие компании	
	Роснефть	РуссНефть	ТГК-1	ТГК-2
NOPAT, млн. руб.	652 160	19 692	9 181	2 066
WACC, %	14,14%	6,12%	17,19%	15,2%
IC, млн. руб.	4 221 160	199 096	157 581	46 355
EVA, млн. руб.	13 261	7 507	(15 166)	(4 981)

Исходя из анализа, можно сделать вывод о значительных различиях между нефтяными и генерирующими компаниями в части создания стоимости для акционеров. Генерирующие компании, подверженные высокому уровню государственного вмешательства и условиям, не всегда соответствующим рыночным, характеризуются отрицательными значениями EVA, что обусловлено низкой эффективностью инвестированного капитала и высоким уровнем затрат на капитал ввиду преобладания собственных источников в структуре капитала. В то время как у нефтяных компаний наблюдается противоположные тенденции. Это подчеркивает влияние структуры капитала на создание стоимости [1].

Литература

1. **Ивашковская, И.В.** Моделирование стоимости компании. Стратегическая ответственность советов директоров: монография. — ИНФРА-М, 2024.

В.А. Евсеева, студ.;
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ОБЪЕКТ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА: ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Инвестиции — сравнительно новая категория для российской экономики. В плановой экономике использовалось понятие капитальных вложений, которое рассматривалось как термин, тождественный инвестициям. В современных условиях предприятия могут осуществлять вложения в ценные бумаги, в основной капитал, а также инвестировать в подготовку кадров, передачу опыта, лицензии, совместные научные разработки [1]. Как известно, только реальные инвестиции (вложение в основной капитал) создают новую стоимость, поэтому именно по ним, прежде всего, судят об уровне и качестве инвестиционной деятельности предприятия. За I полугодие 2023 года Росстат оценил рост инвестиций в основной капитал по сравнению с I полугодием 2022 года в 7,6%. В номинальном выражении это составляет 11 трлн. 625,7 млрд. рублей. В отраслевом отношении наибольший вклад в рост инвестиций внесли: машиностроительный комплекс (производство электроники, машин и оборудования, авиастроение и др.), сфера IT и телекоммуникации, транспортно-логистический комплекс [2].

Актуальность представления инвестиций как объекта бухгалтерского учета связана со сложностью и насущностью отражения в учете процессных экономических явлений, в частности, инвестиционного процесса.

Поскольку инвестиции являются не статическим, а динамическим экономическим явлением (процессом), бухгалтерский учет призван отразить это документально. При этом структурный состав инвестиций используется для структуризации их бухгалтерского учета по признакам поступления, владения и распределения. Учет инвестиций имеет большое значение для финансово-экономического анализа предприятия.

Таким образом, эффективная инвестиционная деятельность предприятий в значительной мере определяется уровнем инвестиционного моделирования, в том числе в вопросах оценки состояния и прогнозирования капиталовложений с учетом различных параметров.

Литература

1. **Абдулкадыров У.У., Манцаева М.А.** Стратегическое управление инвестициями на предприятии // Вестник Академии знаний. 2022. № 3 (50). С. 17–20.
2. Официальный сайт Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/business/918594>.

В.О. Разживина, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ПАО «РОСНЕФТЬ»

На эффективность финансово-хозяйственной деятельности предприятия оказывают влияние различные внешние и внутренние факторы, которые необходимо принимать во внимание при проведении оценки.

Для измерения уровня эффективности используются различные показатели финансово-хозяйственной деятельности. Все показатели эффективности по своему экономическому содержанию представляют собой отношение результата к ресурсам. В качестве эффекта функционирования предприятия может быть принят объем реализации продукции или финансовый результат в связи с чем, рассчитывают показатели производственной и финансовой эффективности [1].

Показатели финансово-хозяйственной деятельности являются ключевыми инструментами для измерения оценки работы предприятия. Они предоставляют информацию о финансовом здоровье и эффективности управления бизнесом, определяют возможные направления для развития компании.

Целью работы является проведение анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятия с учетом текущей экономической ситуации и отраслевой специфики. Объект исследования — крупнейшая вертикально-интегрированной компания ПАО «Роснефть», являющаяся лидером по запасам, добыче и переработке нефти в РФ [2].

В результате исследования был проведен анализ финансово-хозяйственной деятельности компании ПАО «Роснефть», проанализировано финансовое состояние, рассчитаны показатели платежеспособности и финансовой устойчивости организации, показатели деловой активности и рентабельности. Рассмотрено влияние на показатели финансово-хозяйственной деятельности компании таких факторов, как текущая экономическая ситуация, введение западными странами экономических санкций против компании, установление потока цен на российскую нефть, а также отраслевая специфика деятельности компании.

Литература

1. **Канке А.А.** Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия: учебное пособие / А.А. Канке, И.П. Кошечкина. — 2 изд., испр. и доп. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. — 288 с.
2. Официальный сайт компании ПАО «Роснефть» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/>

К.А. Сафиева, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАТРАТ НА ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИМЕРЕ ООО «ТАТНЕФТЬ-АЗС-ЗАПАД»

Современное бизнес-пространство подвержено постоянным изменениям, требуя от предприятий не только конкурентоспособности, но и эффективного управления затратами. Однако, даже при наличии сильных конкурентных преимуществ, предприятия могут столкнуться с неблагоприятными экономическими условиями и неэффективным использованием ресурсов, что может привести к увеличению издержек и снижению прибыли.

Затраты являются одним из ключевых понятий в сфере управления предприятием. Они представляют собой финансовые ресурсы, которые используются для обеспечения производства, предоставления услуг и осуществления всех бизнес-операций.

Проведение анализа затрат становится важным инструментом управления и планирования, позволяя предприятиям выявить и оптимизировать неэффективные расходы.

Объектом исследования в данной теме является финансово-хозяйственная деятельность предприятия ООО «Татнефть-АЗС-Запад».

Целью данного исследования является анализ затрат на предприятии ООО «Татнефть-АЗС-Запад» и разработка рекомендаций по снижению себестоимости.

В современных условиях хозяйствования, ключевым вопросом является выявление потенциала для усиления конкурентоспособности предприятий и поиск эффективных стратегий развития. Значительное влияние на это оказывает себестоимость продукции, которая определяет вариативность управленческих решений в формировании ценовой политики предприятия и стратегии продвижения товаров на рынке.

В последние годы отмечается увеличение расходов на производство, вызванное повышением стоимости сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов.

В результате исследования проведен анализ затрат предприятия ООО «Татнефть-АЗС-Запад», проанализировано финансовое состояние предприятия, структура затрат, также представлены рекомендации по улучшению управления затратами и повышению общей конкурентоспособности.

Литература

1. **Н.Г. Низовкина**, Управление затратами предприятия (организации): учебное пособие для вузов / Низовкина Н.Г. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 178 с. — ISBN 978-5-534-11415-7

*М.И. Ходяков, аспирант;
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ РИСКАМИ В ИТ-СФЕРЕ В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время управление рисками, связанными с инновационными процессами в ИТ-сфере, является ключевым механизмом обеспечения устойчивого развития ИТ-компаний [1]. Несмотря на высокую степень проработанности данного вопроса, введение в отношении РФ санкций со стороны других государств, требует новых подходов к управлению рисками. Таким образом, актуальность управления инновационными рисками в ИТ-сфере в условиях санкционного давления очевидна.

Как показывает практика, значение инноваций особенно возрастает в период экономического спада, когда идет поиск новых возможностей развития бизнеса, при этом риски возрастают. И тем не менее, среди многих российских предприятий, переживших длительную полосу кризиса, выжили именно те, которые выбрали инновационный подход [2].

В рамках проведенного анализа, автором установлено, что в настоящий момент существует множество различных критериев и способов оценки инновационного риска, а общей комплексной модели управления инновационными рисками с учетом давления санкций на экономику РФ, а также сферы деятельности не существует.

Поэтому, автор считает целесообразным разработать модель управления инновационными рисками для российских компаний ИТ-сферы. Таким образом, для качественной, комплексной оценки инновационного риска с учетом санкционного давления необходимо:

1. Провести анализ инновационных процессов в экономике в целом;
2. Выявить основные риски, возникающие в ходе деятельности;
3. Оценить особенности развития инновационной деятельности в РФ с учетом геополитической ситуации;
4. Повести анализ чувствительности модели от человеческого и отраслевого фактора;
5. Сформировать перечень ключевых мероприятий, способных нивелировать возникающие риски при осуществлении инноваций.

Литература

1. **Прущак О.В.** Управление рисками как фактор устойчивого развития инновационных предприятий. Вестник СГСЭУ, 2014, № 2, 77-81.
2. **Харитонов Ю.Н., Радаева А.С.** Организация инновационной деятельности на предприятии в современных условиях. Международный научный журнал «Экономика и предпринимательство». 2022. — № 10. С. 943–947.

*Е.И. Копылова, студ.;
рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ «НОВАТЭК»

Оценка конкурентоспособности компаний на рынке добычи газа РФ актуальна в наши дни, так как от правильности выбора и разработки мероприятий по оценке конкурентоспособности зависит успех компании.

Данная оценка включает в себя анализ рынка, конкурентов, потребителей и внутренних ресурсов компании, таких как персонал, технологии и производственные мощности [1].

Ключевыми показателями конкурентоспособности в газодобывающих отраслях могут быть уровень добычи, эффективность использования ресурсов, себестоимость производства, инновационность и качество продукции, что позволяет выявить сильные и слабые стороны компании, а также определить потенциал для улучшения и повышения конкурентоспособности.

В качестве объекта взята компания ПАО «НОВАТЭК», проанализировано финансовое состояние, проведён стратегический анализ компании (SWOT-анализ, Pest-анализ, построен многоугольник конкурентоспособности) и на основе полученных данных предложена методика оценки конкурентоспособности на примере компании.

Оценка конкурентоспособности является важным инструментом для определения позиции компании на рынке и ее способности конкурировать с другими игроками.

Повышения конкурентоспособности можно достичь через различные стратегии, такие как снижение затрат, внедрение новых технологий, развитие персонала, диверсификация продукции и развитие новых рынков [2]. На основе проведенной оценки предложены рекомендации, которые позволяют улучшить конкурентоспособность газодобывающей компании примерно на 2–3%.

Оценка конкурентоспособности компаний на рынке добычи газа в России является сложным процессом, который включает в себя анализ различных аспектов производства, инфраструктуры, рыночной ситуации и внешней среды.

Литература

1. **Колпаков А.Ю., Меркулов С.К.** Оценка конкурентоспособности российского газа на азиатском рынке // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2016 г. С. 381–396.
2. **Волошин В.И., Герасимов И.С.** Россия на внешних рынках природного газа: возможные перспективы // Российский внешнеэкономический вестник, 2015 г. С. 27–41.

В.С. Коркин, асп.;
рук. Е.М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОЕКТОВ ИНЖИНИРИНГОВЫХ ЦЕНТРОВ

Инновационные проекты инжиниринговых центров представляют собой проекты, совместно осуществляемые научно-образовательными организациями и их индустриальными партнерами. При реализации совместного комплексного проекта университета и предприятия распределяются не только зоны ответственности и управленческие функции, но и риски, определяющие угрозы его успешного осуществления.

Необоснованное распределение и управление рисками является одной из наиболее существенных проблем в отношениях между университетом и предприятием, препятствующих их успешной коллаборации и выстраиванию непрерывных научно-производственных цепочек. Ситуацию усугубляют постоянные изменения рыночной среды и законодательства, что приносит дополнительную неопределенность в проект и значительно усложняет прогноз успешности проекта или его нежелательных последствий. Таким образом, из-за высоких и плохо управляемых рисков совместных проектов значительно снижается инновационная активность университетов и предприятий [1].

Количественной оценке риска предшествует их качественная оценка. Авторами предлагается качественную оценку риска проводить на основе их классификации на группы, представленные на рисунке 1.



Рис. 1. Качественная оценка риска проекта инжинирингового центра

Риск в безубыточной зоне показывает на то, что не ожидаются потери при наступлении рискованного события. Допустимым риском признается угроза полной потери прибыли от реализации проекта. К критическим относится риск, при котором возможна потеря не только прибыли, но и выручки. Катастрофический риск приводит к потере всех ресурсов проекта.

Особенностью проектов инжиниринговых центров как инновационных проектов является их многостадийность. В связи с этим оценивать риски необходимо на каждом этапе проекта на основе рекурсивной процедуры.

Литература

1. **Коркин В.С.** Разработка организационно-экономических инструментов управления рисками инновационных образовательных проектов // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 10 (135). — С. 1178–1186.

В.И. Бойко, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ФИНАНСОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГОСУДАРСТВО ПУТЕМ ВОВЛЕЧЕНИЯ ЧАСТНОГО СЕКТОРА В ПРОИЗВОДСТВО ОБЩЕСТВЕННЫХ БЛАГ

В современном мире наше государство как никогда нуждается в поддержке частного сектора, так как большое количество объектов региональной инфраструктуры находятся в тяжелом техническом и экономическом состоянии. На объектах теплоснабжения, централизованных систем горячего и холодного водоснабжения и водоотведения функционирует оборудование, требующее реконструкции или модернизации, вследствие этого снижается эффективность их эксплуатации, растут затраты на производство, падает качество оказываемых услуг и повышаются тарифы.

Заключение концессионных соглашений является одним из немногих решений выше приведенных проблем. Эта система проявила свою эффективность в крупных муниципальных образованиях, так как в них действуют привлекательные для инвесторов условия по объектам коммунальной инфраструктуры. В малых городах и сельских поселениях обратная ситуация, частные предприятия не сильно заинтересованы в заключении концессионных соглашений из-за слишком высоких требований, низкой тарифной базы и строгих ограничений.

В рамках «Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года» предусмотрено предоставление долгосрочных гарантий возврата средств инвесторов и повышение эффективности регулирования тарифов. Это повысит мотивацию участия частного сектора в производстве общественных благ и приведет к увеличению темпов замены сетевой инфраструктуры за счет использования внебюджетных средств [1].

Таблица 1. Темпы замены сетевой инфраструктуры за 5 лет

Наименование	Ед. измерения	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.
В теплоснабжении	% от	2	2	2	2	2
В водоснабжении	протяженности	0,8	0,9	1	1	1,2

На основе проведенных исследований в работе предложены возможные инструменты снижения финансовой нагрузки на государство путем заключения концессионных соглашений.

Литература

1. **МинСтрой РФ [электронный ресурс]** (URL: <https://minstroyf.gov.ru/docs/18723/>, дата обращения 18.11.2023).

Секция 30

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Industrial economics

Председатель секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна

Секретарь секции: к.т.н. Коломиец Юлия Георгиевна

В.Д. Подопригора, студ.;
рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ЦЕЛЕВОЙ МОДЕЛИ РЫНКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕТО

В 2017 году был выпущен документ «О реформе теплоснабжения», в нем был поставлен ряд проблем, которые сдерживали развитие теплоэнергетики как отрасли и качество жизни населения. В целом возникла ситуация, при которой инвестиций рассматриваемой отрасли требовалось больше количества средств, так как более 70% теплосетей работали с превышением нормативного срока службы, а более 20% котлов и турбин ТЭС старше 50 лет [1], но самая важная проблема для граждан — большой ежегодный рост цен на тарифы (в общей платежке населения за ЖКХ доля тепла составляет 50%), а также долгие отключения, плохое качество горячей воды и недотопы.

В работе проведено исследование возможности влияния Единой теплоснабжающей организации (далее ЕТО) на улучшение развития системы теплоснабжения РФ. Проведены расчеты, обосновывающие экономическую эффективность от внедрения предлагаемой организации, а также статистически доказано повышение качества обслуживания потребителей. Отмечено, как ЕТО может способствовать снижению уровня износа как теплосетей, так и основного оборудования электрических станций. Рассмотрена необходимость и возможность внедрения ЕТО в различных регионах страны, а также произведен расчет прогнозного профицита для потребителей.

Проведена оценка влияния полномасштабного внедрения ЕТО во всех регионах РФ, обозначена экономическая эффективность как для потребителей, так и для страны. Расчетным методом на основе статистики установлены прогнозные значения по повышению уровня фондовооруженности отрасли модернизированным оборудованием, построена мультипликативная модель прогнозирования для определения дальнейшего необходимого уровня финансирования отрасли с учетом различных факторов, что дает высокую точность полученного результата и возможность отслеживать тенденции изменений рынка.

Литература

1. **Министерство Энергетики.** О реформе теплоснабжения в Российской Федерации / Текст: 2017. — С 5–6.

Е.С. Машкова, студ.; рук. И.С. Бабич, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ: ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЗАТРАТ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ

В экономике нет универсальной формулы для определения выгоды инвестирования, однако можно применить следующие методы оценки [1]:

1. Коэффициент возврата инвестиций;
2. Срок окупаемости;
3. Чистый дисконтный доход.

В свою очередь, управление рисками включает в себя определение потенциальных рисков, разработку стратегий по управлению рисками и использование методов страхования рисков.

Автор считает, что комплексный анализ относительно оптимизации структуры инвестиционных затрат и управления рисками позволит снизить потери и повысить доходность энергетических проектов.

Таким образом, актуальность выбранной тематики заключается в том, что оптимизация структуры инвестиционных затрат и управление рисками являются ключевыми факторами, которые необходимо учитывать при реализации энергетических проектов, что поможет обеспечить эффективность и успех проектов.

Оптимизация структуры инвестиционных затрат в энергетических проектах направлена на достижение прибыли и минимизацию затрат.

Автор рассмотрел на примере компании ПАО «РусГидро» формирование инвестиционных затрат [2].

Инвестиции в строительство новых гидроэлектростанций (ГЭС):

1. Модернизация и реконструкция существующих ГЭС;
2. Инвестиции в возобновляемую энергетику;
3. Инвестиции в сетевую инфраструктуру;
4. Инвестиции в исследования и разработки.

Эти виды инвестиционных затрат отражают стратегию компании по развитию энергетики в России. По мнению автора, это один из подходов в рассмотрении структуры инвестиционных затрат. Такие затраты можно определить как капитальные. Помимо них можно рассмотреть операционные затраты (заработная плата сотрудников, расходы на топливо и т.д.). Выбирая виды инвестиционных затрат, необходимо учитывать цели и методы оценки.

Литература

1. **Петрова Е.Е.** Инвестиционный анализ: учебное пособие. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021.
2. РусГидро: годовой отчет 2021, 2022 [Электронный ресурс]

Д.С. Попов, асп.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ЭТАЛОННЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ КАК МЕХАНИЗМ ПЕРЕХОДА К СТИМУЛИРУЮЩЕМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ

Профессиональное и научное сообщество единогласны в том, что энергетическая инфраструктура должна подлежать государственному регулированию. Однако действующие механизмы ценового регулирования электросетевых монополий все больше отражают очевидную неспособность этих механизмов обеспечить конкурентное ценообразование. Существующий механизм регулирования электросетевых организаций в РФ сосредоточен на разрешенной норме прибыли, тем самым является первым основополагающим этапом развития государственного регулирования.

Тенденции последних лет, связанные с использованием цифровых технологий, увеличением доли возобновляемых источников энергии и уходом крупных потребителей на собственные генерирующие мощности, приведут к усилению децентрализации энергетической системы. В результате увеличиваются темпы прироста локальных электросетевых структур с локализованным характером инфраструктуры и управления, представляющих отличную нормативно-правовую среду. При этом у системообразующих электросетевых монополий наблюдается снижение полезного отпуска услуг и падение необходимой валовой выручки при увеличивающемся объеме обслуживаемого оборудования, что в действующей системе приводит к значительному росту тарифов.

По результатам анализа исследований последних лет автор отмечает что на конечную функцию затрат влияют не только объемы обслуживаемого оборудования и полезный отпуск услуг, но и более 100 факторов различной природы, а также процессы, в результате которых конечные потребители определяют необходимый объем электросетевых услуг — избирательная конкуренция. Кроме того, создаются дополнительные проблемы для регулирующих органов и, закономерно, требуется запуск перехода к стимулирующему регулированию электросетевых организаций, в том числе с использованием эталонных методов (бенчмаркинга).

Таким образом, можно сделать вывод, что механизм внедрения эталонного регулирования в РФ в условиях усиления тенденций децентрализации энергетической системы также необходимо рассматривать не только как метод стимулирующего регулирования, но и как процесс внедрения избирательной конкуренции.

М.И. Трефилова, студ.;
рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ НА ОТРАСЛЕВОЙ РЫНОК АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

На сегодняшний день присутствует тенденция создания целого сегмента по производству и дальнейшему внедрению электротранспортных средств на территории Российской Федерации.

В конце августа 2021 года Правительство РФ утвердило Концепцию [1]. Документ содержит в себе целевые показатели развития сектора производства электротранспорта, к ним относятся:

- запуск в эксплуатацию не менее 9,4 тыс. зарядных станций;
- производство не менее 10% (около 25 тыс. ед.) электромобилей в общем объёме производства транспортных средств;
- создание дополнительно не менее 39 тыс. рабочих мест по всей технологической цепочке производства.

На основании проведённого анализа следует сделать вывод, что в 2022 году рынок сократился на 58,8% по сравнению с 2021 годом. В основном спад был вызван нестабильной экономической ситуацией в России и внешними политическими причинами.

В процессе исследования были выявлены ключевые факторы, влияющие на отраслевой рынок, в последующем приведены рекомендации, которые способствуют рациональному решению проблем в рамках производственного сегмента электромобилей. Также следует отметить, для преодоления несостоятельности рынка автомобильной промышленности необходимо прямое воздействие на производителей.

К соответствующим рекомендациям можно отнести следующее:

- разработка механизма софинансирования затрат предприятий;
- стимулирование спроса на отечественные электротранспортные средства;
- совершенствование нормативно-правовой базы, снятие регуляторных барьеров;
- заключение специального инвестиционного контракта по производству электрического транспорта и требуемой инфраструктуры.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 N 2290-р** «Концепция по развитию производства и использования электротранспорта в Российской Федерации на период до 2030 года».

А.В. Лукин, асп.; рук. Е.В. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР И АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДЛЕЖАЩЕГО УЧЕТУ В СИСТЕМЕ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ

Практика учета электрического оборудования в виде системы условных единиц изначально предназначалась для категорирования электросетевых предприятий при установлении системы оплаты труда руководителей. В последующем эта система получила широкое распространение в области анализа деятельности и нормирования различных показателей [1].

Электрооборудование, задействованное в передаче электрической энергии, можно условно разделить на «основное» (ВЛ, КЛ, трансформаторы, устройства коммутации и т.д.) и вспомогательное или «вторичное» (релейная защита, автоматика, приборы учета, вторичные цепи коммутации и т.д.)

Наиболее перспективными разработками в категории основного электрооборудования, с точки зрения повышения эффективности и надежности электроснабжения, многие специалисты считают внедрение трансформаторов с магнитопроводами из аморфной стали, управляемых шунтируемых реакторов, трансреакторов и силовых элегазовых трансформаторов.

В категории «вторичного» электрооборудования исследователи видят будущее за повсеместным распространением концепции «интернета вещей», технологии Smart Grid, роботизации коммутационных устройств и внедрения высокоскоростных протоколов передачи информации в сферу управления сетями и технического обслуживания оборудования.

В результате проведенного автором анализа среднего темпа прироста «основного» и «вторичного» оборудования, за период 2017–2020 гг., в предприятиях ПАО «Россети», выявлено опережения темпов прироста «вторичного» оборудования над «основным». Результатом такого перекаса является дисбаланс в части учета прироста трудозатрат на обслуживание оборудования.

Таким образом, одним из направлений мероприятий по актуализации системы условных единиц, должна стать разработка номенклатуры систем «вторичного» оборудования.

Литература

1. **Приказ Федеральной службы по тарифам от 06.08.2004 № 20-э/2** «Об утверждении методических указаний по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/187460/>.

Е.А. Пехова; рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДОСТИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Современное экономическое пространство динамично и, как следствие, происходит несогласованность действий и ожиданий экономических агентов, а также несогласованность в работе механизмов реализации экономических интересов участников рынка [1].

В рамках работы были изучены интересы ключевых участников рынка электроэнергетики при внедрении цифровизации, а также проанализирована научная литература на тему управления предприятием. В результате было выявлено следующее противоречие: цифровизация внедряется при функционировании существующей системы управления и устоявшихся интересах участников процесса, однако, сам процесс цифровизации меняет интересы его участников, а значит традиционные модели не подходят для получения положительного экономического эффекта.

Решением проблемы является выявление новых интересов участников цифровизации и балансирование этих интересов на рынке электроэнергетики. На основе разработанной модели выделены интересы следующих участников цифровизации: производители — интерес в увеличении доходности, сетевым компаниям необходимо снижение потерь, конечный потребитель заинтересован в снижении затрат на оплату энергии.

Также разработаны: инвестиционный механизм экономии анализа цифрового проекта, включающий показатель косвенных выгод, механизм выбора цифровой технологии для более эффективного принятия управленческого решения организациями и получения полезного эффекта от технологии, а также организационный механизм, позволяющий создать цифровой проект на всех уровнях управления (национальный, региональный, локальный), что способствует наиболее эффективной разработке стратегии, учитывающей интересы всех участников.

По итогу проведенного анализа можно сказать, что процесс цифровизации в электроэнергетике является позитивным трендом для рынка, возможна модернизация производственных процессов, а также получение большего экономического эффекта. Для получения экономического эффекта следует обращать внимание на интересы участников процесса цифровизации и соблюдать баланс этих интересов.

Литература

1. **Панюшкина Е.В.** «Некоторые аспекты реализации экономических интересов в цифровой экономике» — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-realizatsii-ekonomicheskikh-interesov-v-tsifrovoy-ekonomike/viewer>

А.И. Джундаева, студ.;
рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ESG РЕЙТИНГОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОКОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

В результате многолетнего мирового развития экономики, направленной на удовлетворение различных потребностей человека, экологическая ситуация отодвинулась на второй план. Многие компании, нацеленные на максимизацию прибыли, не учитывали всерьез к чему может привести результат их деятельности: сильнейшее загрязнение воздуха, увеличение значительного количества отходов, деградации ценных экосистем и т.д. В конечном итоге, накопленные экологические проблемы заставили множество стран пересмотреть свое отношение к экосистеме. Таким образом, члены ООН разработали принципы ESG, в основе которой лежит концепция устойчивого развития.

Основная идея ESG состоит в активном участии компаний разных отраслей в решении экологических, социальных и управленческих проблем. Чтобы оценить свое воздействие на окружающую среду, а также выявить каких экологических и социальных успехов удалось достичь, организации обращаются к рейтинговым организациям. Они проводят количественный и качественный анализ деятельности компании, а затем присваивают соответствующий рейтинг ESG.

На сегодняшний момент, существует достаточно много рейтинговых организаций, у каждой из которых имеется собственная уникальная методика оценивания деятельности эмитентов, при этом в их задачи не входит проверка точности и полноты предоставленных данных [1]. По этой причине возникает несопоставимость присваивания рейтинга одной компании разными рейтинговыми организациями.

Таким образом, автором были проанализированы научные статьи и методологии рейтинговых организаций, и на основе этого сформирована новая структура критериев ESG с учетом добавления фактора цифровизации и инвестиционной составляющей. Полученная методика позволит оценивать энергокомпании по единой системе, с учетом их специфики в ТЭК.

Литература

1. **Уличкина И.А., Уличкина Л.Ш.** Деятельность рейтинговых агентств: международный и российский опыт // *Economy and Business*. — 2019 г. — С. 1–9.

Е.А. Клюквина, студ., рук. Е.И. Рукина, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ

Современная экономика ориентирована на высокотехнологичное производство, требующее эффективного управления. Бизнес-процессы в энергетике, объединяющие этапы генерации, передачи и распределения энергии, обладают технологическим единством. [1]

На основе последних данных можно отметить устойчивый тренд снижения аварийных ситуаций в энергетическом секторе на 20% за последний год. Это свидетельствует о важности внедрения автоматизированных систем управления режимами, особенно в нештатных ситуациях. Работа с бизнес-процессами для генерирующих предприятий, включая организационную и административную подготовку, дала положительные результаты. Анализ статистических данных подтверждает успешное осуществление стратегий развития, что привело к повышению эффективности производства на 15%. Сокращение времени простоя оборудования на 25% подчеркивает эффективность планирования работ и управления персоналом.

Однако, в контексте перехода энергетики к рыночным отношениям, автор выделяет новые вызовы. Анализ изменения тарифов на электро- и теплоэнергию за последние два года, показывает их увеличение на 10%. Это обуславливает необходимость внедрения новых подходов к формированию себестоимости и стратегиям ценообразования.

Проведенный анализ подчеркивает неотложную потребность генерирующих компаний в активном внедрении систем риск-менеджмента, обусловленную их переходом к операциям на рынке. Полученные статистические данные в области финансовых рисков указывают на заметное уменьшение воздействия рыночных факторов на уровне 18% после внедрения эффективных систем управления рисками.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, генерирующие компании, должны внедрить системы риск-менеджмента на основе конкретных статистических данных для обеспечения стабильности, конкурентоспособности и выполнения договорных обязательств перед потребителями. перефразируй так, чтобы было понятно, что автор сам написал этот вывод

Литература

1. **Камчатова Е.Ю.** Управление рисками генерирующих энергокомпаний — Вестник ГУУ № 2, С. 50–56, 2023.

И.О. Лапин, студ.; рук. О.Г. Коновалова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПАРОТУРБИНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕСТКИ

В связи с наблюдаемым экспоненциальным ростом потребления благ и расхода природных ресурсов экологическая составляющая концепции устойчивого экономического развития приобретает все больший вес. Попытки предотвратить изменение климата в худшую сторону прослеживаются в создании национальных и международных систем торговли выбросами парниковых газов, призванных сократить количество оставляемого углеродного следа, используя рыночные инструменты регулирования. Принятый в марте 2022 года закон о проведении в Сахалинской области эксперимента по ограничению выбросов диоксида углерода положил основу развития собственного аппарата обращения углеродных единиц и единиц выполнения квот в России. Учитывая стратегическую важность энергетической отрасли в рамках страны в совокупности с ее особым отрицательным влиянием на состояние окружающей среды, экологическую повестку также необходимо учитывать и в энергетике.

В рамках данной работы была разработана экономико-математическая модель количественной оценки эффективности паротурбинных технологий генерации электрической энергии в среде подвижных цен на используемое топливо и стремительно вводимых экологических ограничений. На основе анализа операционных затрат были получены зависимости удельной себестоимости производства электроэнергии от цены на условное топливо для четырех уровней паротурбинной технологии, а также значения пороговых точек, определяющих цену на топливо, при которой экономически оправдан переход от текущего уровня ТЭС к ТЭС, работающим на более высоких параметрах пара. По результатам исследования был сделан вывод о том, что функционирование национальной системы регулирования выбросов углекислого газа повышает конкурентоспособность совершенных технологий генерации ЭЭ, что вызвано снижением границы стоимости топлива, обуславливающей эффективность перехода на высокие параметры пара, на 1,8 руб./кг у. т.

Литература

1. **Бобылев С.Н., Захаров В.М.** Кризис: экономика и экология // М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России. — 2009.
2. **Лисин Е. М. и др.** Исследование конкурентоспособности инновационных решений в области использования водородного топлива на тепловых электростанциях.

А.Д. Шилина, студ.; рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ЭНЕРГОЕМКОСТИ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ

Энергоэффективность и энергосбережение — являются одними из приоритетных задач, которые были обозначены главой государства еще в 2009 году, в том же году была поставлена задача снижения энергоемкости к 2020 году на 40%. В 2020 году была утверждена новая программа по повышению энергоэффективности до 2024 года, а в 2023 году была утверждена программа, направленная на поэтапное сокращение использования в РФ энергоресурсов на единицу продукции.

Для повышения энергоэффективности можно применять различные технологии, направленные на снижение энергоемкости, на управление технологическим процессом, а также на контроль вредоносных выбросов.

По данным Минэкономразвития известно, что наиболее энергоемкими секторами по-прежнему остаются «Электроэнергетика, производство тепловой энергии», «Обрабатывающая промышленность», «Население» и «Транспорт» [1].

В данной работе были рассмотрены различные факторы, влияющие на энергоемкость:

- Применение цифровой технологии для снижения энергоемкости производства напрямую;
- Применение цифровой технологии для операционного регулирования потребления энергии;
- Применение цифровой технологии в целях достижения энергоэффективности;
- Энергоемкость цифровой технологии в сравнении с «аналоговыми, визуальными методами контроля».

Данные факторы были проранжированы по степени важности, придан весовой коэффициент для каждого и составлена расчетная формула общей суммы рангов для различных технологий, касающихся энергосетевых компаний: интернет вещей, интеллектуальные сети электроснабжения, интеллектуальные системы учета электрической энергии (мощности), цифровые двойники производства, технология виртуальной и дополненной реальности, нейросети и дроны.

В дальнейшем будет выбрана цифровая технологии и составлена факторная модель энергоемкости для энергосетевых компаний.

Литература

1. **Министерство экономического развития РФ.** Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году. Москва, 2022.

М.Ю. Фадеев, асп.;
рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Развитие экономики РФ в ближайшие десятилетия ориентировано на переход к циркулярной экономике, основная идея которой — повторное использование отходов, а также переход от ископаемого топлива к использованию возобновляемых источников энергии. Целью исследования является уточнение существующих проблем, а также разработка концепции обращения с отходами в условиях развития циркулярной экономики.

Исходя из отчетов Росприроднадзора, на текущий момент на свалках РФ числится порядка 55 млн. т. мусора. Увеличение объема отходов обусловлено в первую очередь за счет промышленности (около 90%). Остальной же объем генерируется населением. Предполагается, что темпы роста отходов ежегодно будут повышаться на 3–4% процента. Увеличение возможностей переработки позволит сократить рост отходов только на 10% [1]. Согласно национальному проекту «Экология», к 2030 году в РФ должны перерабатываться 100% всех поступающих ТКО, но по имеющимся статистическим данным цифра составляет всего лишь 7–10%.

В РФ существует ряд проблем в сфере регулирования, управления и организации деятельности в области переработки, утилизации и захоронения отходов [2]. Основные проблемы обращения с отходами заключаются в недостаточности развитой инфраструктуре, большом количестве несанкционированных свалок, малом техническом обеспечении предприятий. Регионы сталкиваются с проблемами, которые требуют поддержки со стороны правительства, соглашения с другими отраслями и понимания со стороны общества. Поставленные задачи решаются неспешно, но именно они задают новый вектор экономического, технологического и социального развития РФ.

Предполагаемыми результатами использования концепции будут: увеличение экономического роста и стабильности РФ за счет использования новых технологий, а также снижение отходов и улучшение экологической обстановки, которые позитивно повлияют на все сферы деятельности людей и предприятий. Благоприятный эффект от внедрений будет наблюдаться в долгосрочной перспективе.

Литература

1. **Ю.В. Ермолаева.** Современное состояние проблемы отходов в России: основные тенденции // Россия: тенденции и перспективы развития. 2015. № 10-2.
2. **Д.К. Овсянникова.** Механизмы развития сферы обращения с отходами // ЕГИ. 2021. № 2 (34).

А.В. Рощупкина, студ.;
рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ

В современном мире доля промышленности в экономике любых стран увеличивается с каждым годом. В связи с тем, что в данной сфере используется большое количество невозобновляемых ресурсов, стоимость которых растет, перед экономистами и инженерами встает ряд задач, главная из которых, найти технико-экономический баланс при разработке, строительстве и эксплуатации электростанций, обеспечивающих промышленных потребителей необходимой тепловой и электрической энергией при оптимальных затратах ресурсов. Это определяет актуальность всех работ, связанных с оценкой целесообразности использования любых возможных вариантов работы станций.

В работе был рассмотрен проект строительства электростанции, которая должна обеспечивать промышленного потребителя и находящийся рядом поселок необходимой тепловой и электрической энергией. Постройка станции должна обеспечивать надежное снабжение производственных мощностей собственными генерирующими мощностями при учете прогноза роста потребления энергии и экономии текущих эксплуатационных затрат в результате снижения расходов на покупку электроэнергии из централизованной системы энергоснабжения.

Проект является аналитическим, так как в нем сравнивались технико-экономические показатели станции при использовании различных видов ресурсов: газ, дизельное топливо, пар или возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

В результате было проведено технико-экономическое обоснование (ТЭО) и получены показатели экономической эффективности инвестиционного проекта при использовании различных ресурсов.

Литература

1. Инвестиции и инвестиционная деятельность : учебник / Л. И. Юзович, М. С. Марамыгин, Е.Г. Князева, М.И. Львова, Ю.В. Куваева, М.В. Чудиновских, С.А. Дегтярев ; под общ. ред. Л.И. Юзович ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный экономический университет. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 498 с. : ил. — Библиогр.: в конце глав. — 100 экз. — ISBN 978-5-7996-3082-9. — Текст : непосредственный.
2. Экономика энергетики : учеб. пособие для вузов / Н.Д. Роголёв, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др. ; под ред. Н.Д. Роголёва. — М. : Издательство МЭИ, 2005. — 288 с.

Д.Д. Горшков, студ.; рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАБОТУ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ

Современные электросетевые компании сталкиваются с необходимостью эффективного внедрения цифровых технологий для обеспечения надежности и устойчивости энергосистемы, оптимизации операций, а также обеспечения более высокого уровня обслуживания потребителей. Проводимые исследования стали возможными благодаря появившимся не так давно технологиям.

Сетевые компании играют важную роль в распределении электроэнергии между потребителями. Однако в настоящее время большая часть доходов компаний расходуется на компенсацию и обслуживание электросетей. Переход к цифровым технологиям позволит решить вышеперечисленные проблемы. Также цифровизация энергетики позволит снизить процент участия человека в процессах, что позволит минимизировать вероятность проявления человеческого фактора.

Процесс цифровизации электроэнергетики включает в себя внедрение информационных и коммуникационных технологий для улучшения работы систем электроснабжения. Переход к новым цифровым технологиям на основе удаленного доступа и использования искусственного интеллекта позволит быстро реагировать на изменения в энергосети, оптимизировать процессы, тем самым повысить операционную эффективность. Цель исследования — определение перечня цифровых технологий применимых в сетевых компаниях и их воздействия на деятельность таких предприятий. Особое внимание уделяется управлению и автоматизации систем электроснабжения, оптимизации их работы. Важными аспектами развития являются применение современных информационных технологий, повышение качества и надежности обслуживания потребителей. Основной задачей внедрения цифровых технологий является снижение затрат сетевых компаний.

Личный вклад автора заключается в исследовании и систематизации списка цифровых технологий, способных повысить эффективность работы электросетевых компаний. Список включает в себя такие инновационные решения, как системы автоматизации и управления сетью, мониторинга и диагностики оборудования, умные сети и другие.

Литература

1. Пилюгин А.В., Сергеев С.А., Барзыкина Г.А., Горлов А.Н. Экономика электроэнергетики. 2020. — 260 с.

Ю.М. Журавлева, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В век автоматизации и цифровизации бизнес-процессов в энергетическом комплексе добавляется ситуация с наложением санкционных мер по отношению России во всех отраслях экономики. Остро встает вопрос о решении задач, которые необходимо оперативно решать в энергетическом комплексе:

1. Переход на отечественное программное обеспечение, которое будет осуществлять все потребности энергетической отрасли.
2. Замена оборудования и комплектующих отечественными производителями
3. Кибербезопасность и безопасность в целом на критически важных объектах

Цифровая трансформация энергетического комплекса начала активно развиваться с наложением санкционных мер на РФ. В короткие сроки требуется перейти на отечественное ПО, с каждым месяцем на рынке возникает все больше предложений ПО для энергетического комплекса, а тем самым возникает конкуренция на рынке. Создание новых отечественных ПО поддерживает государство в виде «бюджетных ассигнований на осуществление грантовой поддержки перспективных разработок отечественных решений в области ИТ» [1].

Исследование посвящено решению проблем ТЭК и созданию методики выбора отечественного программного обеспечения для электрогенераций на смену зарубежного ПО, в котором будет учтена специфика энергетической отрасли, обратная связь между участниками цифрового проекта, анализ пользовательского опыта и оценки безопасности программного продукта.

В ходе исследования было представлено отечественное ПО, заменяющее зарубежное. Также рассмотрен вопрос методов оценки экономических эффектов при замещении зарубежного ПО на макро- и микроуровнях.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации «О мерах по обеспечению ускоренного развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации» от 02.03.2022 № 83 // Официальный интернет-портал правовой информации. — 2022.

Д.П. Холод студ.; рук. В.А. Щевьёва, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СМЕТНОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ЯКУТСКОЙ ГРЭС

Сметное ценообразование в строительной отрасли достаточно сложный процесс и требует системного подхода. От выбора метода определения сметной стоимости зависит успешное выполнение проекта.

В работе были исследованы различные методы определения сметной стоимости, включая базисно-индексный, ресурсный и ресурсно-индексный. Эти методы основаны на базовых стоимостях, ресурсах и индексах для учета изменений в рыночных условиях. Базисно-индексный метод использует базовые стоимости и индексы для отслеживания изменений. Ресурсный метод фокусируется на влиянии изменений в расходе ресурсов, а ресурсно-индексный метод комбинирует оценку ресурсов с использованием индексов для более полного учета изменений [1]. С 25 февраля 2023 года вступила в действие Федеральная сметнонормативная база. В связи с этим все субъекты РФ переходят на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости.

Основная цель исследования заключается в проведении глубокого анализа системы сметного ценообразования в энергетическом строительстве, на конкретном примере — строительства Якутской генерирующей компании электроэнергетики (Якутская ГРЭС) для подтверждения правильности выбора и последующего перехода всех субъектов Российской Федерации на инновационный метод определения сметной стоимости. Это исследование позволяет получить выводы и рекомендации для энергетических строительных предприятий.

В результате анализа Федеральной сметно-нормативной базы, были выявлены преимущества и недостатки введенного ресурсно-индексного метода и предоставлены научные основания для его дальнейшего использования.

Результаты исследования могут служить основой для принятия решения о переходе всех субъектов Российской Федерации на новый метод определения сметной стоимости в энергетическом строительстве. Этот переход, при условии правильной оценки и эффективной реализации, может привести к повышению прозрачности, снижению рисков и более точному учету изменений в рыночных условиях, что, в конечном итоге, может способствовать успешному выполнению энергетических проектов в России.

Литература

1. **Острикова, С.В.** Экономика строительства: учебное пособие / С.В. Острикова. — Минск: РИПО, 2019. — 342 с.

Т.Н. Гущина, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И ИЗМЕНЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Себестоимость является экономическим показателем, характеризующим эффективность деятельности предприятия. Она показывает уровень затрат и влияет на получаемую предприятием прибыль. Актуальность этой темы обусловлена необходимостью повышения эффективности производства и конкурентоспособности предприятий в условиях происходящих изменений в отрасли вследствие роста темпов цифровизации.

Объектом исследования является себестоимость производства угля, а предметом — изменения, происходящие в ней в результате внедрения цифровых технологий. Целью исследования является определения влияния цифровизации на изменение себестоимости.

Была собрана информация по изменению расходов на внедрение цифровых технологий в экономику страны (рис. 1.).

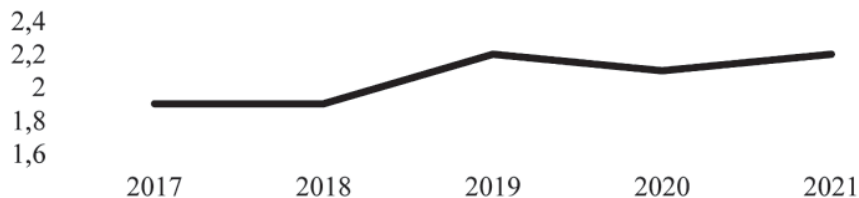


Рис. 1. Внутренние затраты на развитие цифровой экономики за счет всех источников в % к ВВП [1]

В работе была собрана и проанализирована информация по структуре себестоимости угля. Были рассмотрены цифровые технологии и области их применения на предприятиях угольной промышленности, а также оказываемое ими влияние на результаты деятельности предприятия.

По итогу работы, было выяснено, что цифровизация оказывает влияние на структуру себестоимости продукции предприятий угольной промышленности. Внедрение цифровых технологий приводит к снижению себестоимости продукции, повышению эффективности деятельности предприятий, однако для более точной оценки влияния цифровизации необходимо проанализировать больший объем статистической информации по предприятиям угольной промышленности.

Литература

1. **Г.И. Абдрахманова, С.А. Васильковский, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг и др.** Индикаторы цифровой экономики: 2022 : статистический сборник // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : НИУ ВШЭ, 2023. — 332 с. — 300 экз. — SBN 978-5-7598-2697-2 (в обл.).

С.Ю. Балахонов, ст. преп., соиск.;
рук. Е.М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕХАНИЗМ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Особенностью современных систем энергоснабжения российских городов является ориентация их на организацию комбинированного энергоснабжения потребителей теплом и электроэнергией на базе теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), что связано с большой потребностью городов в тепловой энергии и необходимостью экономии энергоресурсов за счет интеграции производства энергетической продукции. Но при этом на данный момент потенциал интеграции реализуется недостаточно, что приводит к вытеснению ТЭЦ из графиков нагрузки и росту цен на конечную энергию. Так, цена на электроэнергию в 2022 году выросла на 6%, а в 2023 прогнозируется увеличение стоимости более 10%, а темп роста стоимости тепла за последние 5 лет превысил 20% [1].

Повышение уровня интеграции и реализация ее преимуществ видится в формировании на базе ТЭЦ интеллектуальных интегрированных энергетических систем, в рамках которых осуществляется не только тепло-электроэнергетическая, но и газо-электроэнергетическая интеграция. Газо-электроэнергетическая интеграция является вертикальным видом интеграции и позволяет сконцентрировать экономические ресурсы газо- и электроснабжения за счет управления прямыми договорами и снижением транзакционных издержек [2]. Развитию данного вида интеграции способствует то, что ТЭЦ обладают собственным газовым хозяйством, включающим газораспределительные пункты, что позволяет на их основе формировать полностью автономные системы энергоснабжения городов.

Предлагаемый авторами механизм стратегического планирования предполагает развитие городских систем энергоснабжения по пути формирования автономных интегрированных энергосистем на базе ТЭЦ при осуществлении совместного планирования производства, передачи и распределения газа, электроэнергии и тепла с целью минимизации стоимости совокупной конечной энергии для потребителя. Реализация данного механизма, с учетом того, что топливная составляющая себестоимости производства на ТЭЦ оценивается в 60–70%, позволит снизить стоимость конечной энергии для потребителя на 9–14%.

Литература

1. **Балахонов С.Ю., Лисин Е.М.** Управление развитием систем энергоснабжения городов на основе инструментов контроллинга // Сборник научных трудов XII международного конгресса по контроллингу. — 2023. — С. 39–45.
2. **Балахонов С.Ю.** Экономические аспекты организации интегрированных энергосистем на базе ТЭЦ для городского энергоснабжения // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. — 2023. — С. 38–43.

В.В. Кузьмина, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПУТИ РАЗВИТИЯ КОНКУРЕНЦИИ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЫНКЕ ДФО

В настоящее время вопрос развития конкуренции и рыночных отношений является актуальным и отображен в Распоряжении Правительства РФ № 1523-р [1], как один из приоритетов государственной энергетической политики Российской Федерации, а в первой половине ноября 2023 года Президент Российской Федерации поручил разработать и утвердить программу электроэнергетики на территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) до 2050 года, которую необходимо доложить до 1 июля 2024 года.

Срочность данного поручения обусловлена с поиском множества решений, необходимых для развития электроэнергетического рынка ДФО, где наблюдаются такие проблемы как:

- высокая стоимость дизельного топлива для ДЭС. Оно закупается на государственное субсидирование, но этого недостаточно для понижения себестоимости электроэнергии ДФО;
- отсутствие у производителей стимула снижения издержек и экономии средств при генерации электроэнергии. Это связано с их интересом в дальнейшем примерно повышать тарифы;
- низкая инвестиционная привлекательность в связи с программой государственной поддержки тарифов, что снижает стимул развития ВИЭ и АЭС;
- повышенный физический износ основных материальных фондов и отсутствие заинтересованности у производителей в их модернизации для привлечения инвестиций (самые крупные компании в ДВО по степени устаревания оборудования стоят в желтой зоне, которая является удовлетворительной);
- ограниченный спрос и недостаточные затраты электроэнергетики на Дальнем Востоке препятствуют привлечению средств для реализации и развития новых проектов;
- риск единства экономического пространства по причине недостаточной связанности сетевой инфраструктуры с объединенной энергетической системой Сибири, имея высокую связанность с Китаем[2].

В данной работе рассмотрена ситуация на электроэнергетическом рынке ДФО, проведен анализ коэффициента рыночной концентрации и индекса рыночной концентрации за предыдущие годы для расчета прогноза состояния конкуренции и тарифной политики от слияния ДФО со 2-ой ценовой зоной, а также рассмотрен вопрос о целесообразности создания отдельной 3-тней ценовой зоны и разработано предложение для стимула социально-экономического развития региона.

Литература

1. **Распоряжении Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.»**
2. Развитие конкуренции на рынке электроэнергии в ДФО. Официальный сайт Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации: [Электронный ресурс]. - URL:http://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2023/_для_публикации_апрель.pdf?ysclid=lp6t4uhcab796926909 (дата обращения: 02.11.2023)

В.О. Биктемирова, студ.; рук. Е.И. Рукина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ПАО «РОСТЕЛЕКОМ»

Регулярная оценка финансового состояния компании является важным инструментом управления, который позволяет обеспечить финансовую устойчивость и успешное развитие бизнеса. От правильности проведенного анализа зависит объективность оценки прошлой и текущей деятельности компании и качество прогнозов будущих результатов.

С каждым днем растет влияние процесса цифровизации — внедрения цифровых технологий в работу предприятия и проведения им соответствующих программ. Ключевая цель подобных проектов — обеспечение технологической возможности коммерциализации исследований и разработок, а также ускорение технологического развития компании и обеспечение конкурентоспособности разрабатываемых ими продуктов и решений на рынке.

Объектом исследования является компания ПАО «Ростелеком» — крупнейший российский провайдер цифровых услуг и решений. Деятельность компании в рамках процесса цифровизации направлена на устойчивое цифровое и социально-экономическое развитие регионов. Компания занимает лидирующие позиции на рынке услуг высокоскоростного доступа в интернет и платного телевидения.

В рамках выполненной работы был проведен анализ финансовых показателей компании.

Таблица 1. Основные финансовые показатели состояние ПАО «Ростелеком» (к 30 сентября) [1, 2]

Показатель	2021	2022	2023	Δ2022–2023	Изменение
Количество абонентов услуг ШПД	9,8	12,0	12,7	0,7	5%
Выручка, млн. руб	348 257	435 564	498 464	62 900	14%
Операционная прибыль	69 347	75 025	92 816	17 791	24%
Чистая прибыль	17 630	31 345	40 452	9 107	29%

Все показатели имеют положительную динамику. Чистая прибыль выросла на конец анализируемого периода на 29%. Данный рост был достигнут за счет современных IT-платформ, которые за 2022 год позволили ответить более чем на 45 млн звонков и почти на 13 млн обращений в чате.

Литература

- Электронный ресурс:** официальный сайт компании [Электронный ресурс] — режим доступа: https://www.company.rt.ru/projects/digital_region/index.php
- Электронный ресурс:** бухгалтерская отчетность [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=141&type=3>

Л.П. Курцев, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Обеспечение эффективного удовлетворения потребности в энергии играет центральную роль в развитии энергетических систем, при этом основное внимание уделяется снижению общего потребления энергоресурсов. Традиционная модель раздельного производства электричества и тепла не оптимальна с точки зрения эффективности, поэтому всё большую популярность получает когенерация — процесс комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.

Цель данной работы состоит в оценке конкурентоспособности российских производителей когенерационных установок.

Конкурентоспособность предприятия отражает его способность удовлетворить конкретные потребности в сравнении с аналогичными предложениями на различных сегментах рынка [1].

В работе оценена конкурентоспособность пяти отечественных производителей когенерационных установок с помощью метода радара, основанного на построении диаграммы сопоставления параметров конкурентоспособности (рис. 1) [2].



Рис. 1. Радар конкурентоспособности

На основе данной диаграммы был рассчитан индекс конкурентоспособности для каждого производителя, наибольшее значение которого оказалось у ООО «ПКТ» (0,475).

Литература

1. **Баумоль, У.Дж.** Микротеория инновационного предпринимательства. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2013. — 432 с.
2. **Циунчик, О.В.** Конкурентоспособность потребительских товаров: учеб. пособие / О.В. Циунчик, В.М. Круглик. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 164 с.

А.А. Пилипенко, студ.;
рук. Д.Э. Мусаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЫНКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Тепловая и электрическая энергии отличаются друг от друга как в производстве, так и в транспортировке и способах потребления. Лучше всего их взаимосвязь проявляется при когенерации, так как на одном источнике производится 2 вида энергии.

При развитии способов когенерации можно добиться уменьшения цен на энергию, повысить КПД источника, а также увеличить объём производства, в том числе за счет вторичных энергоресурсов. Вместе с тем, существует ряд проблем, которые мешают увеличению доли установок когенерации на рынках энергии, что не позволяет наиболее эффективно использовать их на рынках электро- и теплоэнергии.

Для установок когенерации в ходе исследования были выявлены такие факторы как:

1. Устаревшее оборудование совместной выработки. И без того низкий КПД уменьшается при регулировании когенерации.
2. Доли источников энергии. ТЭЦ занимает долю в 64,2% при выработке эл. энергии, тогда как доля в выработке тепла 46%.
3. Рынок электроэнергии развит сильнее, в то время как тепловой носит локальный характер.
4. Переход на индивидуальные источники энергии. Уменьшение доли централизованного энергоснабжения.
5. Монопольное положение котельных в общей системе теплоснабжения. Чаще всего производство на данных источниках дешевле, чем на более крупных.
6. Задолженность населения. Возможность несвоевременно платить за услуги энергоснабжения не позволяет производителю получить прибыль.

Отдельно стоит сказать о паровых турбинах. Их доля на российском рынке составляет 80%, производство активно увеличивается, а конструкция отлажена. В это же время, производство ГТУ невелико, а также существует большая зависимость от поставок с западных стран. Большинство паровых агрегатов имеет возраст в 50 лет, что говорит о их устаревании. Обновление таких установок поможет решить проблему с когенерацией, так как их КПД выше, а регулирование отбора более широкое и с меньшими потерями. Этому обновлению способствует то, что уже сейчас в год выпускается турбины в сумме на 3282 МВт, а объёмы производства восстанавливаются после санкций на 9% в год.

Решение озвученных автором факторов поможет когенеративным производителям энергии усилить свои позиции на рынке.

С.И. Миронова, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Россия является одним из мировых лидеров по добыче и экспорту угля. Несмотря на стремление к декарбонизации, уголь все еще остается в топливно-энергетическом балансе страны. В некоторых регионах ресурс является основным видом топлива для электростанций. Доля угольной генерации в ОЭС Сибири и ОЭС Востока на 2022 год достигала, соответственно, 84,3% и 59,1%, при этом по прогнозам ожидается снижение к 2028 году лишь на 1% [1]. Эффективность деятельности угледобывающих предприятий не в последнюю очередь зависит от бизнес-процессов, происходящих в компаниях, поэтому их изучение не потеряло актуальность.

Целью данной работы является анализ влияния цифровизации на бизнес-процессы угольной промышленности.

В работе были рассмотрены существующих виды бизнес-процессов угольных предприятий (рис. 1) и их характеристика. Были также рассмотрены внедряемые и планируемые цифровые решения и их влияние на деятельность компаний.



Рис. 1. Классификация бизнес процессов предприятий угольной промышленности [2]

В результате работы было выявлено, что происходящий процесс цифровизации влияет на бизнес-процессы угледобывающих предприятий, что в свою очередь оказывает влияние на эффективность деятельности компаний. Для более полного заключения необходимо собрать и проанализировать больше статистической информации по предприятиям отрасли.

Литература

1. **Приказ Минэнерго России от 28.02.2022 № 146** «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2022–2028 годы». [Электронный ресурс] <https://minenergo.gov.ru/node/22853> (Дата обращения 26.10.2023 г.)
2. **Кожарский, П.В.** Процессный подход к деятельности интегрированной угольной компании / П.В. Кожарский // Экономика и предпринимательство. — 2014. — № 10(51). — С. 653–656. — EDN SYAKHP.

А.О. Бабий, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ведущей тенденцией современной экономики является бурное развитие информационного производства. Фундамент новой стадии развития экономики формирует информационный сектор, а знания превращаются в основной экономический ресурс [1]. Глобализация рынка, постоянные изменения в потребительском спросе, инновационные технологии, усиленная конкуренция и многие другие факторы предъявляют высокие требования к стратегиям и управлению предприятиями.

Целью работы является проведение глубокого анализа конкурентоспособности с целью выработки эффективных стратегических решений для улучшения его позиций на рынке.

Объектом исследования является предприятие и система его внутренних и внешних взаимосвязей.

Важность выбранной темы заключается в том, что анализ конкурентоспособности актуален для предприятий, стремящихся укрепить свои позиции на рынке, определить свои конкурентные преимущества, выйти на новые рынки, увеличить узнаваемость и лояльность покупателей, а так как практически все компании преследует хотя бы одну из этих целей, а многие пытаются добиться выполнения большинства из них, тема оценки конкурентоспособности представляет интерес и значима для всех организаций, желающих достигнуть хоть какого-либо положительного результата от своей деятельности.

В работе проведен анализ конкурентоспособности предприятия с помощью различных методов анализа и оценки конкурентоспособности, таких как матрица БКГ, матрица Портера, SWOT-анализ.

Практическая значимость заключается в том, что полученные результаты будут иметь важное значение для разработки стратегий долгосрочного развития предприятия и могут быть использованы в практике управления бизнесом.

На основании проведенного анализа конкурентоспособности, предложены мероприятия, внедрение которых окажет положительное влияние на повышение конкурентоспособности и улучшение позиции компании на рынке. К таким мероприятиям относятся: разработка новой скидочной политики; проведение широкой рекламной компании; внедрение корпоративной системы обучения персонала и модернизация производственного процесса.

Литература

1. **Абаева Н.П.**, Конкурентоспособность организации / Н.П. Абаева, Т.Г. Старостина ; под ред. Т.Г. Старостиной. — Ульяновск : УлГТУ, 2010. — 91 с.

*А.С. Мухамедова, студ.;
рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «ИГАС ИНЖИНИРИНГ»

Данный вид анализа позволяет оценить финансовое состояние организации, выявить ее сильные и слабые стороны, а также спрогнозировать возможные риски и перспективы развития [1].

Целью исследования является проведение финансового анализа компании ООО «ИГАС Инжиниринг» за 2020–2022 г. ООО «ИГАС Инжиниринг» (далее — Общество). Общество является интегратором высококачественных инженерных решений и успешно работает на территории России в течение 10 лет. Задачи исследования:

- 1) Рассмотреть теоретические и методические основы анализа финансового состояния;
- 2) Провести расчет и анализ финансовых показателей предприятия (показатели финансовой устойчивости, рентабельности, деловой активности, ликвидности, платёжеспособности).
- 4) Рассмотреть основные причины и факторы, влияющие на финансовое состояние компании;
- 5) Составить рекомендации по улучшению финансовых показателей.

Ниже в таблице 1 представлены основные финансовые результаты организации:

Таблица 1. Основные финансовые результаты компании за 2020–2022 гг.

Годы	2020	2021	2022
Выручка, тыс. руб.	100163	170261	271585
Себестоимость, тыс. руб.	(87721)	(160500)	(235317)
Прибыль, тыс. руб.	12442	9761	36268
Чистая прибыль, тыс. руб.	8706	7097	28856
Рентабельность продаж, %	12,42	5,7	13,35
Рентабельность себестоимости, %	9,92	4,42	12,26

Как можно заметить, в период 2020–2021 наблюдается отрицательная динамика изменения прибыли компании, затем в 2022 году показатели изменились в положительную сторону.

Итогом исследования станет выявление причин негативных тенденций изменения финансовых показателей и разработка комплексной рекомендаций по улучшению финансового управления Общества, полученные рекомендации будут иметь ценность для развития бизнеса Общества.

Литература

1. **Евстафьевой, И.Ю. Черненко, В.А.** Финансовый анализ: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / И.Ю. Евстафьевой, В.А. Черненко; — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 337 с.

И.Г. Попова, студ.; рук. Е.И. Рукина, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ “ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ”

Актуальность ВИЭ-энергетики, прежде всего, обусловлена необходимостью замещения углеводородного топлива, сжигаемого при производстве тепло- и электроэнергии на традиционных угольных или газовых электростанциях [1].

На основании значимости данной тематики необходимо согласование экологических и экономических аспектов развития «Зеленой энергетики» и оценка экономических выгод в современных условиях.

В дипломной работе проведен анализ необходимо по причине спорности темы исследования: большинство работ имеют односторонний характер, основанный исключительно на положительных чертах ВИЭ.

Предметом анализа формирование экономической политики энергетических предприятий при внедрении цифровых технологий и развития «зелёной» энергетики.

Результат проведенного анализа экономической эффективности ВИЭ по показателям инвестиционных затрат показывает, что на данный момент в большинстве случаев электростанции на основе ВИЭ остаются дорогостоящими и отличаются высокими сроками окупаемости относительно станций на ископаемых энергоносителях. Анализ структуры расчётных затрат для трёх типов электростанций, использующих ВИЭ.

Таблица 1. Структура расчетных затрат

Тип станции	Ном.мощность, МВт	КИУМ, %	ОРЕХ, \$/кВт*ч	CAPEX, \$/кВт*ч
ТЭС	620	87	13.2	917
ВЭС	100	35	39.55	2213
СЭС	150	25	24.69	3873

При анализе полученных результатов, приведенных в таблице 1, инвестиционные затраты в расчёте на единицу установленной мощности у ВЭС и ТЭС заметно выше. При общих инвестиционных затратах, разница будет ещё выше. Если исходить из того, что станция на ВИЭ должна вырабатывать столько же электроэнергии, сколько и ТЭС, мы должны брать в расчёт коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) разных типов станций. Мы видим, что у газовой ТЭС он составит 87%, у ВЭС — 35%, у СЭС — 25%.

Литература

1. **Электронный ресурс:** Современные тенденции в области возобновляемых источников энергии — URL: <https://www.ren21.net/what-are-the-current-trends-in-renewable-energy/>

Д.С. Кузьминов, асп.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА КАК ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК В РФ

Одним из приоритетных направлений в промышленности и экономике является активное внедрение и использование на предприятиях цифровых технологий и инновационных разработок в цифровой сфере. В работе рассмотрены основные параметры цифровизации отрасли топливно-энергетического комплекса РФ (далее — ТЭК), проведен обзор научных трудов, проанализирована имеющаяся нормативно-правовая база. На основании полученной информации сделан вывод, что развитие электрозаправочных станций (далее — ЭЗС) является одним из приоритетных направлений цифровизации промышленности отрасли ТЭК.

В работе произведен сбор аналитической информации об имеющихся ЭЗС в России, проанализирована текущая ситуация по наличию ЭЗС в Москве, определено увеличение числа уникальных пользователей и средней загрузки ЭЗС за два года. Постановлением правительства РФ [1] определено, что к 2030 году общее количество электротранспорта достигнет 3,23 млн. автомобилей и составит 30% рынка автотранспортных средств. На каждом этапе реализации концепции должно запускаться определенное количество ЭЗС, из которых не менее 1/3 — быстрые. На основании этого компании ТЭК вынуждены устанавливать на своих автозаправочных станциях пункты ЭЗС. На основании полученных данных построены графики зависимости количества заправочных сессий и среднего количества киловатт-часов потреблённой электроэнергии на ЭЗС в течение года, что позволило сделать вывод об увеличении количества сессий за 2023 год более чем в 2,6 раз за аналогичный период в предыдущем году.

В работе на основании данных, полученных от крупной компании ТЭК, проведена оценка экономической эффективности открытия новых ЭЗС в т.ч. с учетом влияния цифровизации [2]. Полученные результаты свидетельствуют об экономической эффективности развития ЭЗС.

Литература

1. **Постановление правительства РФ №2290-р** от 23.08.2021 г. «О концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 года».
2. **Бологова В.В., Кузьминов Д.С.** Влияние цифровизации на изменение конкурентоспособности предприятий ТЭК / Цифровая трансформация: тенденции и перспективы. Сборник трудов I Международной научно-практической конференции. Под редакцией Н.Л. Кетовой и М.Т. Заргарян. Москва, 2022. С. 180–186.

Т.Ю. Маленкина, студ.;
рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В условиях развития информационного общества вопрос достоверности информации является одним из ключевых, при этом достоверность финансовой информации обеспечивает надежное выстраивание экономических отношений, а потому роль аудиторских проверок неизменно возрастает. На аудит, как и на любую другую сферу деятельности, все в более значительной мере оказывают воздействие разнообразные продукты, являющиеся результатом повсеместного распространения цифровизации.

На текущий момент в литературе представлен довольно широкий перечень цифровых технологий, актуальных к применению в деятельности аудиторских организаций: облачные хранилища, блокчейн-технологии, система ADA, Big Data, дроны с машинным зрением. Как показывает мировой опыт, наиболее крупные аудиторско-консалтинговые фирмы постепенно разрабатывают и внедряют в свою деятельность продукты цифровизации, например, KPMG внедрила IBM Watson Natural Language Understanding для глубокого обучения, для поиска информации из открытых источников — Tensor Flow и Theano, Deloitte же применяет AI-продукт Argus.

Практика подтверждает, что наиболее крупные аудиторские фирмы, функционирующие на российском рынке, стремятся перенять положительный международный опыт, однако на текущий момент не в полной мере используют имеющиеся возможности цифровизации для внедрения в работу и упрощения взаимодействия с клиентами при проведении аудита ввиду существующих опасений относительно потенциальных угроз системных сбоев и ошибок, кибербезопасности и «обезличенности» аудиторской профессии.

Цель данной работы состоит в оценке эффективности финансово-хозяйственной деятельности аудиторских организаций при внедрении цифровых технологий, применяемых при оказании аудиторских и сопутствующих аудиту услуг предприятиям энергетической отрасли.

На примере одной из крупнейших аудиторских организаций России установлено повышение эффективности финансово-хозяйственной деятельности в результате внедрения самостоятельно разработанного цифрового продукта, относящегося к типу систем ADA. Оценка проведена с помощью системы показателей, учитывающей не только количественные, но и качественные характеристики деятельности, в том числе результаты оказанных услуг, структуру доходов, квалификацию и опыт персонала, клиентскую базу и их лояльность.

Н.А. Общева, студ.; рук. Е.И. Рукина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Одним из наиболее важных направлений развития экономики на сегодняшний день является ее инновационная деятельность. Уровень инновационного развития оценивается исходя из результатов инновационной деятельности различных субъектов хозяйствования.

Инновационная деятельность направлена на получение новых продуктов и знаний, результатом которой является коммерческая реализация новых технологий, новой продукции, материалов, методов организации и управления производством, дающая экономический, социальный, экологический либо иной эффект [1].

В таблице представлен сравнительный анализ ключевых показателей эффективности, входящих в состав интегрального ключевого показателя эффективности инновационной деятельности.

Таблица 1. Показатели эффективности инновационной деятельности

Показатели	Предприятие	Год		
		2020	2021	2022
Количество результатов интеллектуальной деятельности, ед.	ГК «Росатом»	2 562	2 906	3 150
	ПАО «РусГидро»	18	19	30
Доля затрат на НИОКР по отношению к выручке, %	ГК «Росатом»	13,25	13,68	13,86
	ПАО «РусГидро»	25	25	25
Объем финансирования Программы инновационного развития (ПИР), млн.руб.	ГК «Росатом»	9 500	11 400	10 300
	ПАО «РусГидро»	3 001,70	14 786,30	3 445,40

По итогам проведенного автором анализа, следует, что количество результатов интеллектуальной деятельности увеличивается с каждым годом, доля затрат на НИОКР так же возрастает, что может говорить о существенном и положительном влиянии на выручку компаний. Говоря об объеме финансирования ПИР, данный показатель снижается, что может означать о невыполнении поставленного плана.

В результате изучения различных теоретико-методических подходов можно сделать вывод о необходимости разработки методики оценки эффективности инновационной деятельности.

Литература

1. **Электронный ресурс:** Понятие и сущность инновационной деятельности Понятие и сущность инновационной деятельности — URL: file:///C:/Users/obshe/Downloads/ponyatie-i-suschnost-innovatsionnoy-deyatelnosti.pdf

А.И. Белякова, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

На сегодняшний день большинство передовых в своих отраслях компаний активно внедряют инструменты цифровизации: создаются корпоративные программы для коммуникации, обучения и развития, платформы для отбора подрядчиков/поставщиков, что особенно актуально при растущих антикоррупционных требованиях и прозрачности бизнеса.

Цифровизация служит инструментом преобразования организации на разных уровнях: управление, производство, контроль и т.д., однако может быть использована в каждом из них.

Согласно Индексу развития цифровой экономики Россия находится на 23 месте (из 32 европейских стран) по уровню развития цифровой экономики.

Термин «устойчивое развитие» означает развитие, «отвечающее потребностям нынешнего поколения без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности».

Основная цель настоящей работы — разработка методики оценки цифровизации как фактора устойчивого развития компании.

Проблематика устойчивого развития актуализировалась в научных кругах и практической деятельности раньше, чем проблематика цифровизации, что объясняет наличие множества методик оценки прогресса в этой области.

Для проведения анализа изучены имеющиеся показатели и методики оценки:

- FTSE4Good Developed Index, разработанный совместно Financial Times и Лондонской фондовой биржей;
- индексы корпоративной устойчивости, ответственности и открытости Российского союза промышленников и предпринимателей;
- рейтинг корпоративной прозрачности крупнейших российских компаний Российской региональной сети по интегрированной отчетности;
- рейтинг ESG компаний и регионов рейтингового агентства «Эксперт РА» [1].

В целом, проведенный анализ тенденций развития цифровизации и методик ее оценки выявил значительные пересечения с тематикой устойчивого развития. Это подтверждает гипотезу о том, что цифровизация становится неотъемлемой частью устойчивого развития компаний.

Литература

1. **Методология присвоения рейтингов ESG** / Рейтинговое агентство «Эксперт-РА», 2020. — URL: <https://raexpert.ru/docbank//ac6/bba/b49/f02eb70e83f0d27a4c635bc.pdf>

Д.А. Поздеев, студ.; рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В РФ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

За последнее десятилетие управление спросом стало полноценным инструментом обеспечения баланса спроса и предложения в энергосистемах. Цифровизация как процесс является одним из приоритетных направлений стратегического развития страны, и имеет решающее значение для стабильного развития экономики, позволяет существенным образом снизить стоимость новых реализуемых проектов в электроэнергетике, повысить ее технические и экономические характеристики, уровень безопасности.

В представленной работе представлены результаты обзора цифровых инструментов механизма ценозависимого снижения потребления, который используются в мире и оценка стоимости внедрения этих технологий в нашей стране.

Для объединения большого количества получаемой информации и возможности обращаться к ней, на ее основе управлять системной энергоснабжения, разрабатываются и активно внедряются единые цифровые платформы:

- Калифорнийская OhmConnect
- GridBeyond
- Виртуальная электростанция Limejump
- Архитектура Интернета энергии (IDEA) [1]

На примере зарубежных компаний стоимость разработки и создания каждого нового технологического продукта — сервиса на базе информационной системы — для управления спросом можно оценить в 220–300 млн. рублей.

Появление механизмов управления спросом в российской электроэнергетике создает новые бизнес-возможности для компаний, оказывающих энергетические услуги, а также технологический компаний, намеренных разработать новые технологии в энергетике. Предполагается, что появление механизма управления спросом простимулирует дальнейшее развитие электроэнергетических рынков в России, будет способствовать трансформации рыночных практик, повышать их эффективность.

Литература

1. **Экспертно-аналитический доклад «Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности»** // [Электронный ресурс] URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet_2019.pdf

*Л. Алонсо, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА КУБЕ

В проведенном автором обзоре литературы получена обновленная информация об изменениях, претерпеваемых кубинской электроэнергетической системой в ее социально-экономической структуре, определяемых в основном экономическим порядком, реализованным в 2021 г., и мерами, принятыми при администрации бывшего президента Дональда Трампа, в рамках усиления экономической блокады, навязанного правительством США. Энергетический сектор, как стратегическая опора кубинской экономики и общества, представляет собой ухудшение уровня производства электроэнергии, вызванное устареванием тепловых электростанций и ростом цен на топливо на международном рынке, из-за санкций, с которыми сталкиваются участники рынка, устанавливающие прямые отношения с нашей страной.

Внедрение возобновляемых источников энергии стало приоритетом для кубинского электроэнергетического сектора и правительства. В 2019 году в рамках политической воли кубинского государства был принят Декрет-закон No 345 «О развитии возобновляемых источников энергии».

Наиболее актуальные меры:

- Увеличение доли возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии; постепенное замещение ископаемых видов топлива; диверсификация структуры ископаемого топлива, используемого в производстве электроэнергии; стимулирование иностранных инвестиций, научных исследований и энергоэффективности.

Сложная ситуация в стране в 2021 году привела к переоценке ее политики до 2030 года, которая была направлена на достижение 24% производства электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии, установив целевой показатель в 37%. Именно поэтому мы определяем, что данная политика оказывает большое влияние на экономические и финансовые показатели организации. Привлечение иностранных инвестиций и заключение договоров купли-продажи электроэнергии с компаниями с полностью иностранным капиталом трансформируют традиционные бухгалтерские, хозяйственные и финансовые формы в более широкие и сложные процессы, требующие повышения подготовки персонала, задействованного в этих процессах.

Литература

1. Эстремера-Сан-Мартин, Д. (2021). Возобновляемые источники энергии на Кубе: перспективы, исследования, проекты и достижения.

В.О. Фадеева, студ.;
рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ЯРОСЛАВСКОЙ ТЭЦ-1

Россия — лидер по масштабам теплоснабжения: объему производства тепловой энергии, протяженности тепловых сетей. В то же время значительный износ тепловых сетей является главной причиной многочисленных аварий в системе теплоснабжения.

Ярославская область занимает 18 место в рейтинге эффективности теплоснабжения среди российских регионов [1], но высокая степень износа тепловых сетей в Ярославской области представляет собой серьезную проблему для обеспечения надежного и эффективного теплоснабжения в регионе. Особенно это касается старых районов, где инфраструктура имеет непрерывный 40-летний срок службы.

На реализацию инвестиционной программы в Ярославле в сфере теплоснабжения на 2019–2023 годы, включая работы по реконструкции участков тепловых сетей, оборудования котельных и ТЭЦ, а также строительству насосных станций было предусмотрено 329 млн. рублей. На 31 июля 2023 г. программа была выполнена на 26%, а сегодняшний день объем заключенных контрактов в рамках инвестиционной программы составляет 97% [2].

Ярославская ТЭЦ-1, как одно из старейших предприятий в области энергетики [3], имеет большое значение для обеспечения энергетических потребностей города Ярославля. Однако процент износа тепловых сетей в Ярославле достигает 70%, что свидетельствует о критическом состоянии трубопроводов. Это может привести к утечкам, авариям и снижению эффективности теплоснабжения, а также дополнительным затратам на проведение ремонтов, что окажет влияние на стоимость производства и передачи тепловой энергии.

Дальнейшее исследование будет направлено на проведение технико-экономического обоснования реконструкции тепловых сетей Ярославской ТЭЦ-1 с целью обеспечения стабильного теплоснабжения и необходимостью оптимизации экономических и экологических параметров производства и распределения тепла.

Литература

1. Официальный сайт НП «Межрегиональный альянс энергоаудиторов» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://sro150.ru>
2. Официальный сайт ГТРК «Ярославия» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://vesti-yaroslavl.ru>
3. Энциклопедия теплоснабжения РосТепло [Электронный ресурс] — режим доступа: www.rosteplo.ru

Я.А. Барденков, студ.; рук. В.А. Щевьёва, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Целью исследования является экономическая оценка повышения качества поставки. Электроэнергия обеспечивает бесперебойность хозяйственной деятельности субъектов предпринимательства и потребления домашних хозяйств. Поэтому от ее качества зависит степень удовлетворенности данными услугами. Качество электроэнергии — совокупность свойств электрической энергии в соответствии с установленными стандартами, определяющими степень ее пригодности для использования. Для этого используются такие показатели: Стандартное номинальное напряжение (220 В); Частота напряжения электроснабжения (50 Гц +/- 1% на протяжении 99,5% времени за год); Суммарный коэффициент гармоничных искажений напряжения (меньше/равно 8%).

От качества электроэнергии напрямую зависят показатели производителей промышленной продукции, ведь ее перебои приводят к сбою операционных циклов. Качество энергии обеспечивает безопасное применение оборудования. Одним из подходов к оценке качества электроэнергии является экономический. К нему относятся следующие показатели: расчет суммы потерь, вызванных перепадами и сбоями в энергоснабжении системы; определение величины экономии от внедрения энергоэффективных технологий с учетом затрат на них; оценка стоимости обслуживания электросетей и их ремонта в случае аварийных ситуаций. Необходимость экономической оценки качества электроэнергии связана с эффективностью решения задач по повышению эффективности производства электроэнергии на объектах энергетической инфраструктуры. В случае успеха обеспечивается снижение издержек.

Для экономической оценки качества электроэнергии рекомендуется применение алгоритма: 1) оценка финансового ущерба от перебоев поставок электроэнергии потребителям; 2) оценка инвестиций в проект по решению проблемы качества поставки электроэнергии; 3) оценка финансового ущерба от перебоев поставок электроэнергии потребителям после реализации проекта по решению прежних проблем качества электроэнергии; 4) оценка экономической эффективности реализации решения.

Литература

1. Тульский В.Н., Радилев Т.В., Королев В.М., Силаев М.А., Суворова Е.А. Оценка качества электроэнергии в распределительных электрических сетях // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 6 (57). С. 118–123.

О.Л. Педросо, асп.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭКОНОМИКЕ КУБЫ

За последние годы социально-экономическая система Кубы претерпела ряд изменений. В настоящей работе проанализированы современное состояние и тенденции развития этих систем страны.

Республика стремится укрепить свою экономику за счет привлечения инвестиций в промышленный сектор, что привело к созданию многочисленных промышленных предприятий в различных отраслях экономики. Развитие отмечается в сельском хозяйстве, строительстве и сфере услуг. Эти предприятия играют основополагающую роль в экономическом развитии Кубы создавая источники занятости, способствуя экономическому росту страны [1].

Развитие социально-экономических систем на этих предприятиях основано на концепции социалистической развития, при которой государство играет решающую роль в управлении экономикой. Это находит свое отражение на промышленных предприятиях, где собственность, принадлежит государству [1]. Тем не менее, в последние годы были предприняты шаги по развитию участия частного сектора. Это привело к созданию совместных предприятий и управляю бизнесом. Совместные предприятия способствовали диверсификации кубинской экономики и привлечению иностранных инвестиций.

Система управления на промышленных предприятиях Кубы, с точки зрения внутренней организации, построена по иерархическому принципу: во главе организации стоит генеральный директор, а за различные сферы управления, отвечают различные департаменты. В последней области, отвечающей за отбор, найм и обучение персонала, одним из ключевых факторов эффективного управления предприятием является мотивация персонала. Знание социальных потребностей сотрудников, признание их труда, создание благоприятной атмосферы и соответствующие стимулы — это ключевые факторы развития социально — экономических отношений на промышленных предприятиях Кубы.

Литература

1. **Давыдов В.М., Гарсиа Родригес и др.** Современная Куба: вопросы экономической адаптации и переориентации внешних связей. М: ИЛА РАН, Институт Латинской Америки РАН, 2002. 328 с.

Секция 31

МЕНЕДЖМЕНТ

Management

Председатель секции: к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна

Секретарь секции: Вольная Сима Агилевна

И.А. Кодик, студ.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНТРОЛЛИНГ В ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ГРУППЫ КОМПАНИЙ «ДЕЛОВЫЕ ЛИНИИ»)

В современном мире становится актуальным вопрос своевременного и быстрого реагирования на негативные изменения в процессе работы компании. Для достижения целей и эффективного управления используют систему контроллинга. Контроллинг направлен на длительное обеспечение функционирования компании, выявление вероятных рисков и гибкое реагирование.

Выделяют оперативный (краткосрочный) — делать дело правильно и стратегический контроллинг (долгосрочный, перспективный) — делать правильное дело [1].

Группа компаний «Деловые Линии» является одной из крупнейших транспортно-логистических компаний России, предоставляющая услуги по перевозке и хранению груза [2]. В связи с быстроменяющимися условиями хозяйствования рекомендуется использовать оперативный контроллинг, предполагающий следующие мероприятия:

- уход основных зарубежных конкурентов в 2022 году повлиял на спрос услуг по доставке — усилилась борьба за клиента, что побуждает улучшить сервис;
- повышение спроса на минимизацию возможных рисков в 2021 году способствует активному страхованию, что создает дополнительный инструмент гарантии соблюдения интересов клиента;
- страхование сроков доставки, при нарушении которых компания возвращает 120% от стоимости перевозки;
- прогрессивное развитие авиасообщения со странами юго-востока Азии, Турцией, проработка южных направлений России, используя соседние населенные пункты. Также запуск прямой авиадоставки между Китаем со сроком транспортировки от 3 дней;
- внедрение интеграции, где заказ выполняется после создания в системе клиента и отслеживается его статус от забора груза до доставки.

Таким образом, экономический эффект от мероприятий составит около 1 млрд. рублей, повысится эффективность работы в условиях риска.

Литература

1. **Сысоева Е.А.** Контроллинг транспортно-логистических процессов в условиях риска и неопределенности // Труды Международной научно-практической конференции, посвященные 125-летию Университета «Академик Владимир Николаевич Образцов — основоположник транспортной науки». — М.: РУТ (МИИТ). — 2021. — 660 с.
2. Официальный сайт Деловые Линии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.dellin.ru/> Дата доступа: 09.09.2023.

В.К. Драницына, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Согласно мировому рейтингу цифровой конкурентоспособности IMD в 2021 году по сравнению с 2020 годом Россия поднялась на 1 позицию и заняла 42 место [3]. Россия пока находится в середине рейтинга и это говорит о необходимости активизации мер по повышению конкурентоспособности страны в области цифровой трансформации.

Стратегия цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования России предполагает работы по пяти трекам цифровой трансформации (рис. 1), имеющие долгосрочные цели реализации [1].

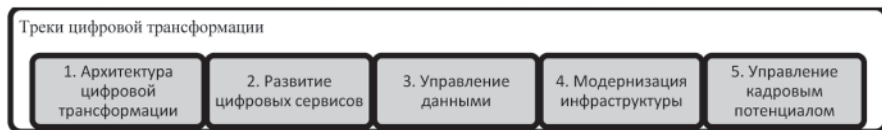


Рис. 1. Треки цифровой трансформации

Кроме этого, стратегия цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования России включает семь проектов (Датахаб, Архитектура цифровой трансформации, Цифровой университет, Единая сервисная платформа науки, Маркетплейс программного обеспечения и оборудования, Цифровое образование, Сервис хаб [2]), каждый из которых должен обеспечить продвижение к «цифровой зрелости» по одному или сразу по нескольким из пяти названных выше направлений.

Таким образом, ВУЗы ожидают «цифровое единство» и «достижение цифровой зрелости». К 2030 году все описанные выше сервисы будут взаимосвязаны между собой, а это требует разработки новой модели трансформации управленческой образовательной деятельностью ВУЗов, отличительной особенностью которой должен являться учет инновационных рисков, связанных с реализуемыми инновационными проектами, и кроме этого, оценка уровня цифровой трансформации образовательной деятельности.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ от 21.12.2021 г. n 3759-р** «Стратегическое направление в области цифровой трансформации науки и высшего образования».
2. Сайт Skillbox — Образование 4.0 <https://skillbox.ru/media/education/opublikovana-strategiya-tsfirovoy-transformatsii-nauki/?ysclid=lkhogc4sbg23293298> (дата обращения: 28.07.2023).
3. Сайт IMD World Digital Competitiveness Ranking <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/> (дата обращения: 28.07.2023).

*Д.О. Загайнов, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Существует необходимость в совершенствовании методов оценки и контроля экологических рисков, которые воздействуют на эффективность инвестиционного проекта.

Экологический риск — это возможность возникновения негативных изменений экологических факторов, влияющих на окружающую среду, здоровье человека, социальную и экономическую стабильность региона, а также влекущих за собой экономические издержки на нейтрализацию возникших негативных последствий. В связи с этим, снижение негативных последствий влияния экологических факторов риска, на наш взгляд, заключается в их идентификации и оценке.

На практике применяются различные методы оценки экологических рисков: статистический; оценки целесообразности затрат; экспертных оценок; аналитический; метод использования аналогов; оценки финансовой устойчивости и платёжеспособности; анализ последствий накопления риска; комбинированный метод [1]. У всех этих методов имеются недостатки, и ограничения в их применении.

Анализ и оценка экологических факторов риска проекта реконструкции реактора «В» завода ПППНД ПАО «Казаньоргсинтез» заключается в определении ставки дисконтирования для оценки затрат инвестиционного проекта на снижении экологических рисков по этапам инвестиционного проекта. Следует выделить следующий этап: строительство и эксплуатация проекта.

Определение стоимости инвестиционного проекта на основе выделения эффективности затрат на снижение рисков позволяет уточнить NPV проекта, сроки реализации и эффективность используемых инвестиций.

Литература

1. **Сургаева В.Е.** Оценка финансовых рисков коммерческой организации // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2020. — № 5-3. — С. 211–215.

Д.С. Ловчикова, студ.;
рук. М.А. Знаменская, ст. преп., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ТУРИЗМА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

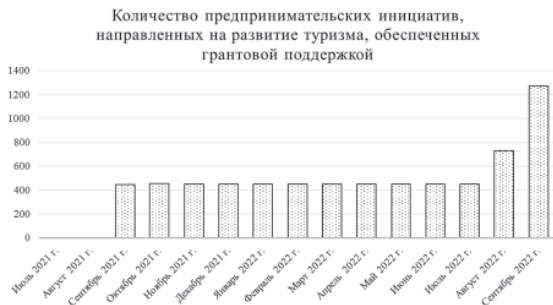


Рис. 1. Статистический анализ предпринимательских идей за 2022 г. по данным «Росстат»

подхода в целях реализации новых туристических проектов. Согласно Федеральной службе государственной статистики, на 2022 год было предложено более 1200-х идей развития туристической отрасли, которые обеспечены грантовой поддержкой, что доказывает отсутствие стагнации в отрасли и появление новых туристических проектов (рис. 1).

Соответственно, при появлении новых проектов на внутреннем туристическом рынке возрастает конкуренция, и возникает важность проведения анализа конкурентоспособности туристических продуктов внутри страны, с целью определения актуальности новых разрабатываемых продуктов и возможных их изменений и адаптаций. С помощью анализа конкурентоспособности, можно определить новые показатели, с учётом которых можно создать новый конкурентоустойчивый продукт. Такими показателями выступают: своевременная сдача проекта с высоким уровнем подготовки, бесперебойность функционирования и др.

В связи с проведенным анализом, наиболее конкурентоспособными туристическими проектами являются проекты, направленные на пляжный, экскурсионный и музейный туризм.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2021 г. (ред. 14.07.2023) N 2439 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие туризма» // Министерство экономического развития Российской Федерации.

Н.Е. Прошкин, студ.; рук. М.В. Патуроев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ВЫПУСКНИКА ВУЗА

Качественная подготовка специалистов является важным аспектом для экономики и рынка труда любого развивающегося государства. Уровень безработицы в 2022 г. составил 3,9% (см. Рис 1), из них доля молодых специалистов — 14,4%. Вследствие чего у вузов возрастает необходимость в оценке компетентностной модели выпускников (КМВ) для корректировки программ обучения и повышения конкурентоспособности выпускаемых специалистов на рынке труда [1].

В ходе анализа существующих методик оценки КМВ выявлено, что ни одна из них не рассматривает полный набор компетенций, входящий в КМВ. А именно профессиональные, общепрофессиональные и универсальные компетенции из основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО), профессиональные и общепрофессиональные компетенции из дополнительного профессионального обучения (ДПО), а также дополнительно приобретённые компетенции (ДПрК). Ввиду этого не представляется возможным в полной мере оценить конкурентоспособность выпускника вуза.

В рамках совершенствования процесса оценки КМВ необходима разработка новой методики, которая будет учитывать все компетенции, входящие в КМВ: ОПОП ВО, ДПО и ДПрК. Основными этапами разработки методики при этом станут:

- определение показателей для оценки КМВ;
- определение весовых коэффициентов для показателей КМВ;
- разработка формулы для оценки КМВ;
- определение единицы измерения КМВ.

Разработка новой методики позволит получить более широкое представление о конкурентоспособности выпускников на рынке труда, а также выявить параметры образовательной среды, которые нуждаются в улучшении. При этом повышение конкурентоспособности выпускаемых специалистов позволяет прогнозировать прирост абитуриентов на 1–6% и прирост спроса на выпускников на 4–10%.

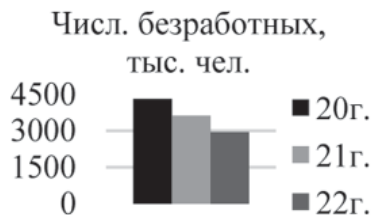


Рис. 1. Статистика безработных по данным Росстата

Литература

1. Трудовые ресурсы, занятость и безработица // Федеральная служба государственной статистики URL: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 07.11.2023).

*Р.В. Шабаета, студ.;
рук. Е.А. Сотниченко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА СРОК АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

Значимость адаптации персонала в фармацевтической отрасли связана со стремительным развитием этой отрасли и потребностью в высококвалифицированных кадрах, поэтому фармацевтические компании сталкиваются с необходимостью проведения успешной адаптации сотрудников, которая поможет сотрудникам быстро включиться в рабочий процесс и достичь высоких результатов.

Адаптация персонала — это процесс введения новых сотрудников в процесс и условия работы и введение в новый коллектив [1]. Современные методы направлены на максимальное вовлечение новых сотрудников в жизнь фармацевтических компаний с самого начала работы и на помощь им почувствовать себя частью команды фармацевтической отрасли.

К инновационным методам адаптации относятся нестандартные методы, которые ранее не использовались в этом процессе, к ним можно отнести чат-боты, мобильные приложения, геймификацию. Применение инновационных технологий в процессе адаптации персонала в фармацевтической отрасли может уменьшить время необходимое для адаптации новых сотрудников, а также помочь новым сотрудникам быстро освоить необходимые навыки и знания и принести результаты фармацевтической компании.

Инновационные методы адаптации оказывают влияние на текучесть кадров, то есть у фармацевтических компаний отсутствуют дополнительные затраты на рекрутинг и обучение новых сотрудников. При правильной адаптации новые сотрудники начинают быстрее приносить пользу компании, что прямо сказывается на финансовых результатах компаний фармацевтической отрасли [2].

Для сокращения срока процесса адаптации персонала фармацевтической компании, эффективного управления организацией, увеличения отдачи персонала фармацевтической отрасли необходимо использовать чат-боты, мобильные приложения и геймификацию.

Литература

1. **Кибанов А.Я., Ивановская Л.В.** Кадровая политика и стратегия управления персоналом. Учебно-практическое пособие. — М.: Проспект. 2020.
2. **Красавина Е.В.** Система работы с кадрами в современной компании Е.В. Красавина // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. — 2020.

А.В. Скурыдин, асп.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ИННОВАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

В соответствии с тенденциями развития мировой экономики необходимо предпринимать решительные меры по активизации инновационного потенциала предприятий как основы планирования в стратегии опережающего развития. На современном этапе целесообразно рассматривать инновационную составляющую предприятия на основе концепции жизненного цикла. В настоящее время важно развивать инновационный потенциал как движущую силу, способствующую росту компании.

В современной научной литературе имеется множество работ, в которых значительное внимание уделяется оценке инновационного потенциала на основе изменения показателей деятельности предприятия. Результаты исследования показали, что рост экономических показателей компании не связан на прямую с ростом инновационного потенциала.

На наш взгляд необходимо:

Во-первых, уточнить сущность инновационного потенциала на основе выявления свойств экономических систем, а также выявления факторов, его определяющих на фазах жизненного цикла предприятия. Виды инновационных решений (новый продукт, модернизированный продукт, обновленный продукт) имеют разные жизненные циклы, а показатели, влияющие на оценку потенциала, изменяются во времени.

Во-вторых, основываясь на результатах исследования методических подходов к анализу и оценки инновационного потенциала необходима разработка нового методического подхода, основанного на анализе взаимосвязи экономических показателей предприятия и составляющих инновационного потенциала, обусловленных наличием скрытых (латентных) факторов на стадиях жизненного цикла продукта.

По мнению авторов, такой подход позволит глубже раскрыть сущность инновационного потенциала на современном этапе. Реализация данного подхода позволит модернизировать систему стратегического управления инновациями, нацеленную на формирование стратегии опережающего развития.

Основные положения исследования представлены в источнике [1].

Литература

1. **Мызникова М.Н., Скурыдин А.В.** Новый теоретико-методический подход к управлению инновационным потенциалом на этапах жизненного цикла предприятия и инновационной продукции // Joint innovation-Joint development: сборник статей II Foreign International Scientific Conference (Harbin (China), Октябрь 2023). — СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2023.

П.Е. Жохова, асп.;
рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО РЫНКА КОСМЕТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Весной 2022 года российский рынок косметики столкнулся с серьёзными проблемами в связи с введенными санкциями и уходом части иностранных брендов, также изменилось поведение потребителей в сторону уменьшения покупок. Частично ситуация разрешилась за счет введения параллельного импорта, но это привело к новым проблемам: большое количество контрафактной продукции — до 68%, увеличение стоимости товара из-за роста курса валют и новой логистики, увеличение сроков поставок готового товара и ингредиентов для производства [1]. Также наблюдаются проблемы с упаковкой, так как многие российские бренды закупали ее в Европе и на Украине. Потребители всегда больше доверяли иностранным брендам. Мало собственных разработок — большинство брендов использовали иностранные формулы. Новые российские бренды уделяют мало вниманию маркетингу, недостаточно финансирования. Не все торговые сети готовы расширять ассортимент в пользу российских брендов.

Несмотря на все эти проблемы число покупок косметики и парфюмерии в первом полугодии 2023 года превысило уровень полугодия 2022 года на 14%, на 10% — число покупок в первом полугодии допандемийного 2019 года. Рост количества покупок парфюмерии и косметики произошел во втором квартале 2023 года — относительно уровня 2022 года они увеличились на 45% [2].

Можно предложить следующие рекомендации производителям и продавцам косметики: брендам необходимо оперативно реагировать на изменения внешней среды; следить за изменением поведения и привычек целевой аудитории; сосредоточиться на создании новых продуктов, особенно в условиях импортозамещения; поиск и разработка альтернативных источников ингредиентов и упаковки для производства; больше рекламы — освободилось медиа пространство после ухода иностранных рекламодателей; использовать новые каналы коммуникаций.

Литература

1. Как себя чувствует российский бьюти-рынок в 2023 году. [Электронный ресурс] / SettersMedia / Режим доступа: <https://www.setters.media/post/bolshoy-obzor-rossiyskogo-byuti-rynka-v-2023-godu-tendencii-ozhidaniya-i-nadezhdy>
2. Почему продажи косметики в России растут? [Электронный ресурс] / BFM.RU / Режим доступа: <https://www.bfm.ru/news/531884?ysclid=ln1p0obz1z923418310>

Я.О. Антоненко, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «МАЛОЕ И СРЕДНЕЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО»

Модульный принцип занимает особое место в структуре научного познания. Данный принцип широко используется в научном мире, образовательной среде, а также при разработке программ и масштабных проектов. Национальный проект «Малое и среднее предпринимательство», реализуемый в нашей стране с 2018 года, имеет четкие цели и методы их достижения, однако, как у любого проекта, у данного нац. проекта есть свои преимущества и недостатки, для урегулирования которых были созданы организационные инструменты — институты МСП, технологически нацеленные на устранение возникающих внутренних и внешних проблем. Однако на фоне выстроенной организационной системы ощущается острая нехватка инструментария для определения, систематизации и аналитики проблемных полей в структуре МСП. Как нам представляется, такой инструмент должен включать в себя 5 основных расчетных показателей (1):

1. Доля МСП в ВВП (ME_i).
2. Доля занятых в сфере МСП от общего по стране (ZE_i).
3. Доля производимых видов продукции (PP_i).
4. Доля выручки (W_i).
5. Коэффициент поддержки МСП (K_i).

$$X = \frac{\sum_{i=1}^X (ME_i + ZE_i + PP_i + W_i)}{\sum_i^X K_i} \quad (1)$$

Критерий X в данной формуле является показателем эффективности реализации средств, направленных на поддержку МСП, в разрезе конкретного Федерального округа РФ с учетом имеющихся трудовых, инфраструктурных и финансовых ресурсов [1].

Полученные результаты будут соответствовать следующим критериям:

- от 0,5 до 1 — средний уровень эффективности реализации проекта;
- более 1 — высокий уровень эффективности реализации проекта;
- менее 1 — низкий уровень эффективности реализации проекта.

Наглядное выражение результатов работы возможно представить в виде матрицы эффективности.

Литература

1. **ords.rea.ru** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ords.rea.ru/wp-content/uploads/2020/12/Rudenko_avt.pdf. — Дата доступа: 10.10.2023.

*А.С. Игнатьева, студ.;
рук. Е.А. Сотниченко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ ЭКСПОРТА ПРОДУКЦИИ ТЭК В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

Инвестиционная деятельность компаний топливно-энергетического комплекса сопряжена с множеством проблем, связанных как с организацией и планированием данного процесса внутри организации, так и с взаимодействием со всеми внешними участниками данной деятельности, включая привлечение требуемого внешнего финансирования. Проекты экспорта в топливно-энергетической сфере, как правило, являются широкомасштабными, требующими профессиональных знаний и опыта их подготовки, финансирования и последующего управления. Учитывая масштабность большинства проектов в данной сфере, процесс организации инвестиционной деятельности, и реализация отдельных проектов требует значительных финансовых, временных и трудовых затрат.

Изменения внешнеэкономической ситуации подталкивают к необходимости обновления финансирования экспорта ТЭК в России.

Основными критериями инвестиционных проектов в сфере ТЭК являются следующие: зависимость проектов или прямое участие в них государства, высокая инвестиционная стоимость проектов, ограниченное предложение на рынках поставок.

Для проектов в сфере ТЭК требуются разработка и внедрение комплексной стратегии привлечения инвестиционных ресурсов, связанной как с выбором источников финансирования, так и привлечением кредиторов и инвесторов, обеспечивающих проект необходимыми объемами средств на приемлемых условиях.

Финансовая модель экспорта ТЭК с учетом нынешней ситуации в мировой экономике позволит установить стабильность и непоколебимость к внешним условиям, что в свою очередь приведет к укреплению экономической и национальной безопасности государства, обеспечение его экономического суверенитета.

Литература

1. **КиберЛеника.** «Принципы организации финансирования проектов топливно-энергетического комплекса» URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-organizatsii-finansirovaniya-proektov-toplivno-energeticheskogo-kompleksa> (дата обращения: 30.10.2023).
2. **Иванов М.Л.** Внешнеэкономическая деятельность. Учебное пособие / М.Л. Иванов, М.Д. Иванова. — М.: РИОР, Инфра-М, 2019. — 128 с.

Н.С. Комиссарова, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ МЭИ)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФАКТОРОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО РЕМОНТА С ОБЪЕМОМ ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

Источником инвестиций на ремонт и обновления электросетевой инфраструктуры электросетевых распределительных компаний являются собственные средства, сформированные из нераспределенной прибыли и амортизационных отчислений. При этом в состав расходов на функционирование организации входят операционные и капитальные затраты.

В связи с тем, что электросетевые распределительные компании в рамках государственного регулирования подчиняются политике сокращения объема капитальных затрат в структуре валовой выручки при расчете тарифов, формирование инвестиций на реализацию ремонтов в рамках капитальных затрат усложнено.

Таким образом, ключевые решения о проведении ремонтных работ должны приниматься исходя из объема операционных затрат. Оптимизация операционных затрат, формирующихся в соответствии с факторами электротехнического ремонта и модернизации (Рис. 1) позволит электросетевым компаниям реализовать механизм выбора ремонтной программы с минимальными издержками.

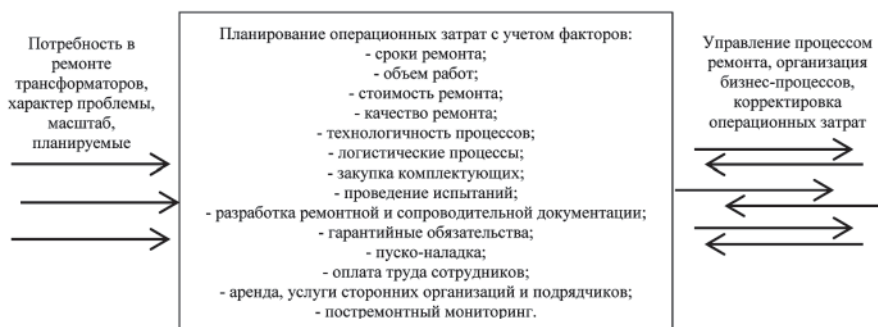


Рис. 1. Модель взаимосвязи факторов электротехнического ремонта трансформаторов с операционными затратами (разработана автором)

При этом в объеме операционных затрат должны быть учтены риски, формирующиеся под влиянием существующих в отрасли проблем и с учетом особенностей электросетевых компаний. Таким образом, при выборе той или иной ремонтной программы должны оцениваться факторы эффективности ремонта и проектные риски, а также факторы неопределенности внешней среды.

Н.-Л.Э. Попов, асп.; рук. О.А. Бучнев, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ИЗМЕРЕНИЯ СТРАХОВОЙ СТОИМОСТИ ФАСАДА ЗДАНИЯ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

На сегодняшний день существует задача по распознаванию состояния объектов, в частности: зданий. Для выполнения распознавания используется искусственный интеллект, который натренирован на образах похожих объектов. Вся сложность наступает при связывании образа и автоматическим определением стоимости восстановительных работ. Включающих в себя: материал и рабочую силу. На данный момент удалось натренировать модель на распознавание фасадов зданий и окон.

Анализ фасадов зданий является важной проблемой в компьютерном зрении, который имеет множество применений в реальном мире и индустрии 4.0. Во-первых, эта проблема является ключевой для 3D-реконструкции уличных сцен, которая давно востребована в сообществе компьютерного зрения. Успешный синтаксический анализ фасадов зданий позволяет не только более эффективно хранить информацию о здании, но и записывать информацию на основе правил в таблицы или базы данных, для дальнейшего использования для расчета стоимости страхования объекта. Эти правила могут быть в дальнейшем использованы для реконструкции фасадов зданий в различных стилях, что полезно, например, в игровых движках. Во-вторых, точный анализ фасада здания может быть полезен при реконструкции карты улиц и автоматическом вождении автомобилей, позволит транспорту лучше ориентироваться в окружающей среде и повысить безопасность. Задача состоит в том, чтобы семантически идентифицировать категорию каждого пикселя [1]. Семантические категории в основном состоят из фасадов зданий, таких как: окно, стена, балкон и т.д.

В дальнейшем планируется создать алгоритм, который после успешного распознавания фасада здания откроет LibreOffice Calc с файлом, где задана формула стоимости, например, покрасочных работ, и выдаст итоговую стоимость основываясь на этом. Далее будет идти поэтапное усложнение распознавания и связывания до полного перечня работ и итоговой стоимости. С помощью предлагаемой инновации повысится экономическая достоверность оценки объектов для страхового бизнеса и экономики города в целом.

Литература

1. Качалин В.С., Панов Ю.Н., Попов Н.-Л.Э. Сравнительный анализ различных систем оптического распознавания символов при работе с текстом, написанным с помощью кириллического алфавита // Современные наукоемкие технологии. — 2022. — № 8. — С. 65–70.

*С.С. Старинцева, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ ПО ОСНАЩЕНИЮ ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИЙСКИМИ ИТ-КОМПАНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

В условиях сложившейся геополитической и геоэкономической ситуации вопросы импортозамещения в сфере ИТ, в частности программного обеспечения (ПО), обрели беспрецедентную актуальность. Импортозамещение ПО объединяет в себе два важных направления: достижение цифрового суверенитета и повышение конкурентоспособности отечественных разработок.

В основе достижения поставленных целей на национальном уровне лежит решение частных проблем эффективной реализации проектов компаний-разработчиков в отечественном промышленном комплексе. Управление разработкой программного обеспечения — особый вид управления проектами, в рамках которого происходит планирование, отслеживание и контроль за этапами реализации проекта с учетом уникальности жизненного цикла ПО.

Ввиду этого необходимо опциональное решение проблем повышения эффективности ведения проектов импортозамещения ПО в промышленном секторе за счет конкурентности программных продуктов, совершенствования практики ведения и оценки таких проектов с учетом реализации политики импортозамещения в ИТ-секторе. В первую очередь предлагается формирование портфеля проектов с учетом соответствия ключевым критериям эффективности ПО на основании экспертной оценки. К данному набору факторов относятся: информационная безопасность, гибкость лицензирования, нативный интерфейс, техническая поддержка, затраты на разработку программы, маркетинг и продвижение продукта.

На фоне необходимости перехода на отечественные компоненты разработки, нехватки высококвалифицированных кадров в сфере ИТ и несогласованности между потребностями системообразующих предприятий и готовых решений отечественных программных продуктов, повышение эффективности управления таких проектов становится ключевым фактором обеспечения цифрового суверенитета России.

Литература

1. **Поляков Н.А.** Управление инновационными проектами: учебник и практикум для вузов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2023. — 384 с.

А.П. Гонтарь, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ РОССИЙСКОГО РИТЕЙЛА

На сегодняшний день российский ритейл находится на высоком уровне цифровой зрелости, адаптируясь под задачи потребителей и бизнеса. Из направлений, где уже сейчас российская продукция сильно развита отмечают кассовые системы. Российские разработчики, предлагают кассовые программные решения, соответствующие требованиям законодательства и системам налогообложения, а так же комплексы систем защиты информации: антивирусное программное обеспечение, защиту сетей, данные мониторинга и мн. др. [1]

Цифровизация является для этой отрасли одной из ключевых движущих сил. Чем выше конкуренция на рынке, тем важнее становится уровень сервиса и формирование положительного клиентского опыта. Выгода цифровизации заключается в том, что ритейл теперь обходится меньшим числом сотрудников на кассовых линиях и снижает затраты на оплату труда, наращивает выручку за счёт дополнительных продаж, в чём помогает маркетинг: предложения о доп. покупках на экранах касс самообслуживания и расположение рядом с ними товаров импульсивных покупок. Желание ритейлеров оптимизировать бизнес-процессы повышает интерес к технологиям на базе искусственного интеллекта. Торговые сети внедряют искусственный интеллект для прогнозной аналитики, персонализации услуг и сервисов, автоматизации внутренних процессов.

Одно из направлений, которое поможет добиться вышеупомянутых преимуществ — являются магазины формата «Без продавца», разработка и внедрение которых уже активно ведется в России. Они совмещают в себе все тренды: кассы самообслуживания вместо кассиров, ИИ для контроля процесса покупок, обработка и хранение информации о покупателях для дальнейших персонализированных предложений. Это магазины с торговой площадью ~ 30 м², расположенные в спальных районах, имеющие в ассортименте непродовольственные товары и товары 1 необходимости [1].

Такой формат уже демонстрирует более быструю окупаемость инвестиций, по сравнению с классическими; заметен рост выручки на 1–1,5%; увеличение оборота на 1–2%; увеличение лояльности покупателей.

Литература

1. **Паскова А.А.** Цифровая трансформация розничной торговли: тенденции и технологии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-rozничnoy-torgovli-tendentsii-i-tehnologii>

Д.К. Шецьков, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

В условиях развития национальной экономики в рамках цифровизации экономики, особую актуальность приобретает совершенствование системы управления отечественных организаций и предприятий, вследствие потери эффективности предыдущих подходов к управлению.

В данном случае возникает необходимость анализа и систематизации полученного опыта, разработанного отечественными учёными такими как Баканова А. и Позолотина Е.И.

В качестве совершенствования системы управления можно предложить следующие пути развития:

1. Алгоритм поиска наилучшего исполнителя с формированием рейтингов и автоматизацией процедуры экспертной оценки для обеспечения выбора наилучшего исполнителя служебного задания [1].
2. Разработка алгоритмов формирования процессов управления персоналом на основе модели компетенций по должности [2].

Так при использовании алгоритма поиска наилучшего исполнителя с формированием рейтингов и автоматизацией процедуры экспертной оценки для обеспечения выбора наилучшего исполнителя служебного задания при использовании показателей КРІ на примере компании ГК «СКАУТ», которые касались качества деятельности отдела разработки можно выделить следующие показатели:

- Количество обнаруженных дефектов.
- Количество запросов в службу поддержки от клиентов.
- Покрывание кода автоматизированными тестами.

При этом, улучшены показатели КРІ на 25%, включающие в себя уменьшение обнаруженных дефектов, уменьшение количества запросов в службу поддержки от клиентов. Время выполнения текущих задач уменьшилось на 12%, среднее увеличение производительности составило 27%, на 20% сократилось время подбора подходящего исполнителя.

Литература

1. **Баканова, А.** Метод выбора наилучшего исполнителя для решения служебных задач на основе компетентностного подхода : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.10 / Баканова Анна; [Место защиты: Пермский национальный исследовательский политехнический университет]. — Санкт-Петербург, 2021. — 18 с.
2. **Позолотина, Е.И.** Управление персоналом организации корпоративного типа на основе системного применения компетентностного подхода : автореферат дис. ... кандидата экономических наук : 08.00.05 / Позолотина Елена Ивановна; [Место защиты: ФГБОУ ВО Уральский государственный экономический университет]. — Екатеринбург, 2019. — 26 с.

Н.Е. Прошкин, студ., Р.А. Рогачев, асп.;
рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ИКТ) В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

В настоящее время в деятельности университетов важное место занимает цифровизация образовательного процесса. Это связано, в первую очередь, с пандемией коронавирусной инфекции, когда в 2020 году университеты столкнулись с необходимостью перевода обучения студентов на полностью дистанционный формат. Университетам понадобилось некоторое время, чтобы адаптироваться к новым реалиям.

Второй немаловажный аспект цифровизации связан с государственной программой «Приоритет 2030», участником которой является НИУ «МЭИ».

Эта программа направлена на обеспечение условий для формирования цифровых компетенций и навыков использования цифровых технологий у обучающихся, в том числе у студентов ИТ-специальностей.

В рамках этой программы в НИУ «МЭИ» проводится программа профессиональной переподготовки «Цифровая кафедра» в сфере ИТ и программы высшего образования с получением двух квалификаций для студентов бакалавриата и специалитета НИУ «МЭИ».

Также немаловажным аспектом цифровизации учебного процесса является внедрение массовых открытых онлайн курсов (МООК). Наиболее популярными платформами для МООК являются Moodle и Stepik.

Кроме того, информационно-компьютерные технологии (ИКТ) необходимы для создания эффективной системы управления обучением. Примером может послужить Балльно-рейтинговая система (БАРС), которая выполняет множество важных задач, среди которых:

- повышение мотивации студентов к активной и равномерной учебной работе в течение всего семестра;
- повышение уровня организации образовательного процесса в университете и исполнительской дисциплины студентов, преподавателей, работников кафедр и дирекций;
- повышение объективности и регулярности оценки преподавателями результатов работы студентов.

Литература

1. **Масалова Ю.А.** Цифровая трансформация в деятельности университетов: направления и перспективы. Изд-во Урал. ун-та, 2020. С. 200–210.
2. **Кузьмина Е.Ю., Жернакова М.Б.** Организационные аспекты цифровизации управления // Экономические системы. 2020. Т. 13. № 1. С. 95–101.

Д.Е. Кудрявцев, асп.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КЛИЕНТСКОГО СЕРВИСА В БИЗНЕСЕ ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

В качестве вектора развития энергосбытовых компаний России предлагается диверсификация бизнеса в совокупности с внедрением гибких клиентоцентричных технологий управления.

Отмечается, что при диверсификации бизнеса у энергосбытовой организации уже есть серьезное конкурентное преимущество в виде сформированной клиентской базы. Главной задачей компании становится максимальное использование этого преимущества.

В качестве возможного драйвера изменений в философии бизнеса и менеджмента на пути перехода энергосбытовой компании к диверсификации может выступать методология Agile, ставшая, например, в ИТ-компаниях уже мейнстрим-философией в борьбе за клиента.

Но актуализируются вопросы управления отмеченным выше конкурентным преимуществом, в том числе сохранения его, чтобы не уступить конкурентам.

Необходимо обратиться к опыту представителей ИТ-индустрии для поиска решений этой задачи. Крупнейшие ИТ-компании России, такие как Сбер, Тинькофф, Яндекс, МТС трансформируют взаимодействие бизнеса с клиентами на основании принципов клиентоцентричности, оцифровывая клиентский опыт уже не менее 5 лет [1, 3]. Но в начале 2020 года (пандемия КОВИД 2019) этот процесс ускорился в разы. Сейчас представленными компаниями уже созданы целые цифровые экосистемы для потребителей, а отраслевые границы бизнеса стали размываться (примеры: Сбер, МТС).

К сожалению, энергосбытовые компании в настоящее время, по сравнению с ИТ-компаниями, делают только начальные робкие шаги в направлении цифровой трансформации клиентского опыта и сервиса [2]. Данное направление должно становиться стратегическим приоритетом для энергосбытов и направлением опережающего развития.

Литература

1. **Дербенева А.А.**, Цифровая трансформация энергетических компаний: механизмы и инструменты, "CHRONOS": мультидисциплинарные науки Том 6 #5(67), 2022, стр. 52–54.
2. Отчет об устойчивом развитии ПАО «МОЭК» за 2023 год, URL: https://online.moek.ru/_otchet-ob-ustojchivom-razvitii/2022/
3. **Петренко С.**, «Мы выстраиваем свои продукты и сервисы вокруг клиента», URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5998312/>

*Ч. Олзийсүрэн, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

Горная промышленность, относящаяся к первичным и ведущим отраслям экономики, имеет ряд отличительных особенностей: высокий уровень затрат, капиталоемкость, масштабность, долгосрочность, активное участие государства, высокая экономическая концентрация и волатильность цен на продукцию. Указанные особенности обуславливают необходимость поиска комплексного подхода к оценке финансовой устойчивости предприятия горной промышленности [1].

На сегодняшний день нет единого метода определения финансовой устойчивости предприятия горной промышленности, с учетом их особенностей можно выделить основные методы и подходы к оценке финансовой устойчивости предприятия.

Существует множество методов анализа финансовой устойчивости предприятия любой отрасли, при этом можно выделить неформализованные и формализованные. В неформализованных методах присутствует некий субъективизм, основаны они на опыте тех, кто их применяет. Формализованные методы более строги, используют четкий логический аппарат и выявляют аналитические закономерности.

Также различают различные подходы к оценке финансовой устойчивости: ресурсный, традиционный, ресурсно-управленческий, основанный на теории нечетких множеств и т.д. [2].

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о необходимости поиска подхода обоснования выбора наиболее эффективного инструмента управления финансовой устойчивостью с учетом особенностей горной промышленности.

Литература

1. **Мелешко Ю.В.** Специфика горной промышленности как вида экономической деятельности // *Экономическая наука сегодня*. 2020. С. 113–114.
2. **Кутин М.В.** Сущность, цели и задачи определения уровня финансовой устойчивости предприятия // *Вестник современных исследований*. 2019. No 1.10. С. 189–192.

*А.Е. Юшерева, студ., С.А. Вольная, соиск.;
рук. Кетоева Н.Л., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основным содержанием трансформации энергетики стали вытеснение из энергетического баланса ископаемых видов топлива и широкое использование возобновляемых источников энергии [1]. Параллельно развиваются тенденции: децентрализации, цифровизации, роста спроса на электроэнергию (э/э), управления кибербезопасностью электросетей. А так как такая бизнес-стратегия, как клиентоцентричность получила распространение и в сфере электроэнергетики, то главным аспектом деятельности любой организации, связанной с бизнес-процессами поставки э/э, будет являться качественное управление системой этих процессов (в изменяющихся условиях современности) для надежного обеспечения поставки электроэнергии конечным потребителям.

Управление системой бизнес-процессов поставки э/э представляет собой целенаправленное воздействие на нее для достижения устойчивого функционирования не только предприятий промышленности, стабильная деятельность которых обеспечивает производство стратегически значимых для государства видов продукции, но и др. потребителей электроэнергии.

Система управления бизнес-процессами поставки электроэнергии — это сама производственно-экономическая система (S). Управляемой системой (S2) будут являться бизнес-процессы поставки э/э. В то время как на нее управляющее воздействие будет оказывать управляющая система (S1) Департамента развития электроэнергетики РФ. Входными параметрами (x) для управляющей системы будут являться материальные, финансовые, трудовые, информационные и др. ресурсы, применяющиеся для поставки э/э. Выходным же параметром (y) будет являться передача э/э. На обе системы будут действовать экономические и политические факторы, а также факторы неопределенности внешней среды как параметры внешнего воздействия (w). Воздействие S1 на S2 будет происходить через параметры управления (m): законодательные акты, нормы государства РФ, регламенты, стандарты, цены, нормативы, тарифы.

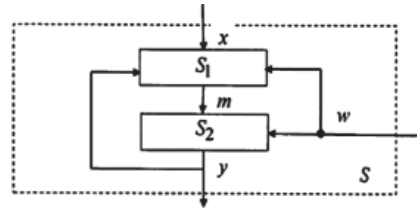


Рис. 1. Схема системы управления бизнес-процессами поставки электроэнергии

Литература

1. **Буйновский Ф.** «Форсайт столетия» для новой энергетики // Вестник Атомпрома — 2022. — № 02. — С. 58–59.

Н.А. Григорьев, студ.;
рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОТРАСЛИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ЛОГИСТИЧЕСКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Современные технологии играют ключевую роль в развитии отрасли транспортной логистики, влияя на логистические бизнес-процессы и способствуя оптимизации работы предприятий. Исследование современных технологий в этой отрасли позволяет выявить их влияние на логистические процессы и оценить их эффективность.

В настоящее время тенденции существующей экономики определяют ее постоянное изменение, модернизацию и автоматизацию различных хозяйственных операций, по этой причине, транспортные компании все чаще при организации логистической деятельности применяют инновационные технологии и передовые технологические решения.

Одной из важных технологий является система управления транспортом (TMS), которая позволяет оптимизировать маршруты доставки, управлять транспортными средствами и контролировать выполнение логистических задач. Использование TMS позволяет сократить время доставки грузов, снизить затраты на топливо и повысить качество обслуживания клиентов.

Так как одним из ключевых принципов, лежащих в основе логистики, выступает надежность, то прямой задачей логистической системы целесообразно считать сведение к минимуму или устранению вовсе различных рисков. Получается, что главными задачами логистической системы являются такие, как сокращение срока доставки груза, упрощение системы документооборота, создание безопасной среды для передвижения груза, в том числе обеспечение его сохранности [1].

В рамках процесса документооборота на базе CRM необходимо предложить усовершенствованную систему хранения и передачи транспортной документации, для более быстрого получения оплаты за грузоперевозки и сокращения издержек в рамках компании.

Таким образом, исследование современных технологий играет важную роль в развитии отрасли транспортной логистики и способствует улучшению логистических бизнес-процессов.

Литература

1. **Лысенков, А.И.** Логистические системы. Анализ и синтез структурно-функционального облика / А.И. Лысенков. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 220 с.

А.С. Зимина, студ.; рук. М.Т. Заргарян, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛИЗИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Одними из ключевых факторов конкурентоспособности современного предприятия являются: увеличение качества производства и наращивание объёмов продукции. При использовании максимальных производственных мощностей происходит постепенный износ оборудования, которое необходимо поддерживать в ра-

бочем состоянии или периодически обновлять. Однако далеко не все предприятия могут позволить себе замену оборудования за счёт банковских кредитов или собственных средств. В таком случае, единственным альтернативным решением является лизинг, как возможность преодолеть кризис в экономике и улучшить инвестиционную деятельность. Лизинг — совокупность экономических и правовых отношений, возникающих в связи с реализацией договора лизинга [1].

Популярные отрасли, где лизинг является рациональным решением: нефтегазовая, энергетическая, горнодобывающая, металлургическая, химическая промышленности, авиация, железнодорожный и водный транспорт. Рассмотрим Группу Газпромбанк Лизинг — компанию, которая входит в ТОП-10 крупнейших лизинговых компаний России (рис. 1).

Таким образом, использование услуг лизинга имеет множество преимуществ: индивидуальный подход и надёжность, высококачественные и надёжные лизинговые услуги и др. Новой точкой роста лизинговой отрасли мог бы стать ESG-лизинг. Российский лизинг много работает с транспортом, а этот вид деятельности является одной из ведущих точек роста для глобального энергетического перехода.

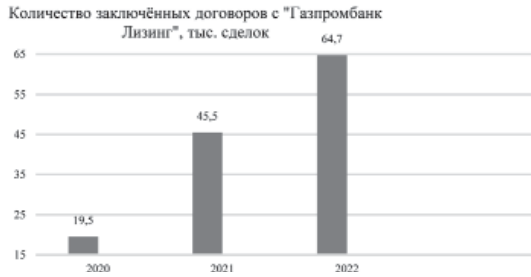


Рис. 1. Динамика числа законченных договоров [2]

Литература

1. **Федеральный закон № 164** «О финансовой аренде (лизинге)».
2. Официальный сайт «Газпромбанк Лизинг деятельность» [Электронный ресурс] URL: <https://gpbl.ru/leasing/>

Д.С. Чупрун, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В КОРПОРАТИВНОМ КОНТРОЛЕ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время в России набирает популярность тема цифровых двойников предприятий и процессов. Пока цифровые двойники не используются для оптимизации закупочной деятельности как инструмент корпоративного контроля, но с большой долей вероятности механизм взаимодействия двух цифровых двойников поможет в поиске надежных поставщиков, максимально отвечающих требованиям заказчика. По своей сути цифровые двойники — это виртуальные прототипы реальных объектов, групп объектов или процессов. Цифровые двойники представляют собой, как правило, сложный программный продукт, который создается на основе самых разнообразных данных и технологий, и объединяет в себе искусственный интеллект, компьютерное обучение и программное обеспечение со специальными данными для создания живых цифровых моделей. Эти цифровые двойники постоянно обновляются вслед за изменением физических прототипов [1]. Процесс внедрения цифровых двойников за последние годы ускорился, технология применяется как для промышленных, так и для управленческих процессов. Велика вероятность выстроить процессы взаимодействия заказчика и исполнителя, что позволит увеличить контроль в разрезе закупочной деятельности.

Внедрение в России цифровых двойников в закупочной деятельности и механизмов ее корпоративного контроля пока не осуществлено.

Новые возможности искусственного интеллекта позволяют создавать цифровых двойников, в которых роль человека в принятии управленческих решений будет все больше минимизироваться. Цифровые двойники будут способны принимать решения автономно, координировать действия с другими цифровыми двойниками, выполнять самодиагностику, самостоятельно устранять неисправности [2].

Для реализации подобного проекта необходимы огромные финансовые ресурсы и в данное время реализуемы только при государственной поддержке или в сфере ТЭК и ИТ.

Литература

1. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2019. — Т. 7, № 5. — С. 105–115.
2. **А. Прохоров, М. Лысачев** / *Цифровой двойник: анализ, тренды, мировой опыт*, Москва: корпоративное издание. 2020. — 354 с.

И.О. Борзых, студ.;
рук. М.А. Знаменская, ст. преп., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ ПОДХОДА DATA DRIVEN В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАКОМПАНИЙ

В наше время огромное количество организаций всё чаще внедряют систему принятия решений на основе подхода к управлению Data Driven.

Data Driven — это подход к управлению, фундаментом которого служат данные, их анализ и интерпретация, а также прогнозирование для новых данных. Постулат заключается в том, что управленческие решения необходимо принимать не на основе личного опыта, а на основе анализа данных. Согласно исследованию, компании McKinsey & Company [1] на основе аудита деятельности более 2000 организаций, применение подхода Data Driven позволило увеличить основные экономические показатели компаний в среднем на 20%. Эта позиция подтверждается исследованием EY [2], согласно которому 81% из 270 опрошенных руководителей считают, что анализ данных должен быть основой всех управленческих решений.

В коммерческой деятельности современных авиакомпаний управление доходами и ценообразованием является основным источником увеличения доходов. Управление доходами авиакомпании находится в зоне ответственности коммерческого директората. Коммерческий директорат состоит из нескольких департаментов: департамента ценообразования, департамента управления доходами, департамента анализа данных. Департамент ценообразования формирует тарифную сетку для различных направлений и дополнительных услуг. Департамент управления доходами назначает тарифы из тарифной сетки на определенные рейсы с учётом баланса спроса и предложения. Департамент анализа данных обеспечивает другие департаменты корпоративной отчётностью, на основе которой их коллеги принимают решения по тарифному регулированию. Функционал департамента анализа данных заключается в изучении первоисточников данных, обработке данных, построении отчётов для бизнес-заказчиков основе на собранных данных.

Одна из составляющих подхода Data Driven — это прогнозирование будущих показателей, на основе данных за предыдущие периоды времени. В дальнейшем будет разработан механизм по прогнозированию будущих экономических показателей, который будет прогнозировать спрос на будущие рейсы при помощи технологии машинного обучения. Это позволит менеджерам принимать более корректные решения по ценообразованию и тарифному регулированию и в последствии — увеличить доходы авиакомпании от продажи авиабилетов.

Литература

1. **McKinsey & Company:** [Электронный ресурс]. URL: www.mckinsey.com
2. **EY (Ernst & Young):** [Электронный ресурс]. URL: www.ey.com

*Е.А. Никуйко, Н.Е. Прошкин, студенты;
рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В МАРКЕТИНГОВОЙ АВТОВОРОНКЕ ПРОДАЖ

В наше время, в эпоху цифровизации, внедрение новых технологий, в уже зарекомендовавшие себя методы, не является чем-то необычным. Недавним нововведением в цифровом мире стало использование нейросетей [1].

Нейросеть является программной структурой и представляет собой совокупность информационных сегментов (нейронов), которые несут в себе информацию и в процессе итераций, основанных на опыте (решенных задачах) «подгоняются» под наиболее благоприятный результат.

Цель исследования заключается в том, чтобы расширить уже существующую технологию поиска информации нейросетью в рамках маркетинговых исследований.

Исследования проводились на примере маркетинговой автоворонки продаж. Для работы использована нейросеть «ChatGPT» со стандартной структурой, называемой «Многослойный перцептрон» и алгоритмом обратного распространения ошибки и адаптирована под требования исследовательской работы. На каждый этап автоворонки продаж была внедрена данная нейросеть и скорректирована под необходимые задачи.

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты: увеличился охват аудитории с 30 тыс. чел. до 328; письма, получаемые потенциальными покупателями, носили более таргетированный характер; длительность времени прохождения всех этапов маркетинговой автоворонки сократилась в 1,5 раза; сокращение издержек фирмы, за счет уменьшения необходимого штата сотрудников, повысило рентабельность на 15%.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что автоматизация процессов маркетинга при помощи нейросетей может стать новым витком в развитии рекламных компаний организаций. Так как использование практически бесплатного и более эффективного способа проведения популяризации своего продукта или услуги повышает рентабельность предприятия.

Литература

1. **Сергеев А.П.** Введение в нейросетевое моделирование: учеб. пособие / А.П. Сергеев, Д.А. Тарасов; под общ. ред. А.П. Сергеева. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 128 с.

*А.Н. Заббаров, студ.;
рук. Д.М. Шакирова, к.с.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

Для успешного ведения бизнеса в современном мире необходимо освоить соответствующие методы управления персоналом. Быстро меняющийся рынок и развивающиеся технологии делают эффективное управление персоналом — ключевым элементом успеха любой компании. Неправильные решения могут серьезно подорвать конкурентоспособность и рентабельность организации, поэтому изучение современных методов управления персоналом становится необходимостью.

К современным методам управления персоналом относятся:

- а) применение ассесмент центров (позволяет объективно оценить компетенции, личностные качества и потенциал кандидатов на вакантные должности) [1].
- б) гибкая система компенсации и стимулирования (предполагает учет индивидуальных потребностей и достижений сотрудников, а также установление мотивирующих целей и вознаграждений).

Неотъемлемой частью современных методов управления персоналом является также активное использование информационных технологий, это значительно упрощает и ускоряет работу HR-специалистов, а также повышает качество предоставляемых ими услуг.

Методы стимулирования персонала зависят от целенаправленности мотивации, финансовой возможности компании, конкурентной среды и изменений во внешней среде. Учитывая эти факторы, организация может разработать и внедрить эффективную систему стимулирования персонала, способствующую достижению стратегических целей и обеспечивающую развитие и рост, как сотрудников, так и организации в целом, минимизируя различные виды рисков, в том числе и кадровых [2].

Современные методы управления персоналом ориентированы на достижение оптимального использования человеческого потенциала и развитие каждого сотрудника, а также позволяет организации быть впереди конкурентов и обеспечивать долгосрочный успех.

Литература

1. **Верна В.В.** Управление персоналом организации как основополагающий фактор ее устойчивого развития // *Успехи современной науки*. 2019. — Т. 3. — № 1. — С. 171–173.
2. **Махиянова А.В.** Оценка рисков инвестиционных проектов (на примере реализации проекта «Организация дирекции строящихся объектов» АО «Татэнерго») // *Московский экономический журнал*. 2022. № 4.

А.Ю. Пушкарева, студ.; рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПАСОВ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Товарные запасы — это готовая продукция, предназначенная для конечного потребителя, а также материальные ценности, находящиеся в процессе доставки. Для определения оптимального объема и ассортимента товарных запасов, в настоящее время активно используют ABC и XYZ-анализ, который позволяет классифицировать товар по существующей совокупности соответственно выбранным критериям, а также выявить стабильно продающиеся позиции.

В ходе проведенного исследования была проанализирована деятельность ООО «МВМ» и представлены рекомендации по оптимизации запасов и повышению эффективности их использования были выбраны мероприятия, такие как:

внедрение CRM-системы;

— изменение периодичности и частоты завоза товаров;

— стимулирование сбыта конкретных категорий товаров (игры и софт, компьютеры, техника для дома, аксессуары) с помощью маркетинговых инструментов.

Данные мероприятия ориентированы на увеличение продаж, скорости оборачиваемости, уменьшение продолжительности времени оборачиваемости, расширение клиентской базы, улучшение условий закупки. В работе также осуществлен расчет экономической эффективности предлагаемых рекомендаций. При внедрении мероприятий комплексно, ожидается увеличение оборота на 17,2%, при росте себестоимости продаж на 14,6%, рост прибыли продаж на 27,1%, при росте рентабельности продаж на 8,5% [1].

Проведён анализ деятельности компании, изучены формирование ассортимента и особенности управления товарными запасами, а также определены возможные пути совершенствования управления товарными запасами на примере ООО «МВМ».

Литература

1. Экономика предприятия (организации) [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Эл. изд. — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 501 с.). — Нижний Новгород: НОО «Профессиональная наука», 2018. — Режим доступа <http://scipro.ru/conf/enterpriseeconomy.pdf>.

А.С. Володина, студ.; рук. М.Т. Заргарян, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КОМАНДООБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ

Современные электро-энергетические компании сталкиваются с рядом вызовов, включая быстро меняющиеся технологии, регулятивные требования и конкуренцию. Исследования в сфере управления проектами энергетического комплекса показали, что наиболее значимыми в процессе командообразования качествами являются: умение мотивировать, способность управлять собой в стрессовой ситуации, стремление к самообучению и саморазвитию, настойчивость в достижении цели, умение обрабатывать оперативную информацию [1]. Однако исследований в области компетенций проектного менеджера энергетических систем практически нет, что подтверждает актуальность исследования.

Исследования, проведенные многими учеными и аналитиками в сфере управления персоналом энергетических компаний, подтверждают то, что создание команд в современных организациях можно считать предельно эффективным инструментом, качественно новой идеологией взаимоотношений руководителей и сотрудников.

На рисунке 1 представлены основные факторы, влияющие на процесс командообразования.

Существенное влияние на выбор того или иного подхода или метода к процессу формирования команд оказывает характер межличностных отношений в коллективе, что свидетельствует о значительных трудностях в организациях, создающих команды.

Использование командных форм организации труда, без сомнения, является одним из наиболее важных факторов успеха современных компаний не только в контексте эффективности управленческих процессов, но и с позиции успешного функционирования всей организации в целом, что неоднократно подтверждается многочисленными исследованиями проблемы и многолетними наблюдениями за тенденциями в работе с персоналом.



Рис. 1. Факторы, оказывающие влияние на процесс командообразования

Литература

1. **Безрукова Е.Ю.** Информационно-методическое обеспечение процесса командообразования: Автореф. дис. канд. соц. наук: 19.00.05 // Научная библиотека диссертаций и авторефератов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/informatsionno-metodicheskoe-obespechenie-protssessa-komandobrazovaniya#ixzz59iSm8OZZC> (дата обращения: 14.11.2023).

А.А. Николаева, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СЛУЖАЩИХ

Повышение эффективности государственной службы и качества государственного управления являются необходимыми условиями успешного развития Российской Федерации [2]. Традиционный консерватизм государственной службы, неэффективность функционирования сложившихся бюрократических систем приводят к снижению доверия к органам государственной власти и проводимой ими политике, способствуют формированию негативного отношения к государственным служащим.

Быстро меняющиеся институциональные условия современного мира ставят перед государственными органами и их служащими новые цели и задачи, непоставимые по своим масштабам, сложности и комплексности с задачами, которые приходилось решать в XX веке [1]. От эффективности их деятельности и обоснованности выбора приоритетов государственной политики во многом зависит социально-экономическое развитие страны. В этой связи внедрение управленческих технологий, направленных на повышение результативности деятельности государственных служащих в Российской Федерации, приобретает огромное значение и должно стать одним из основных направлений модернизации системы государственной службы в ближайшее время.

Ключевым аспектом повышения результативности деятельности государственных служащих, как показывает теория и международная практика, становится создание объективной и комплексной системы индикаторов, отражающих выполнение должностных обязанностей и степень достижения поставленных целей, позволяющих сфокусировать внимание должностных лиц на основных приоритетах органов власти. Во многих развитых странах для этих целей широко используются показатели результативности (*performance measures, performance indicators*).

Создание условий устойчивой мотивации государственных служащих, обеспечивающих их прямую заинтересованность в результатах деятельности, предоставление больших полномочий, возможность проявления инициативы и применения профессиональных компетенций приводят к существенному повышению результативности деятельности.

Литература

1. **Карпенко А.** Профессия государственный служащий / Государственная служба, РАГС, №2. — 2020 г.
2. Рекомендации по стимулированию государственных гражданских служащих — М.: «Гендальф»-2022 г.

В.В. Гарманова, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОВЕДЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ МОСКВА»)

На сегодняшний момент многие предприятия прибегают к использованию инструмента ISO 9001. Данный инструмент дает ряд преимуществ, таких как: повышение эффективности предприятия, повышение качества выпускаемой продукции или услуг, повышение лояльности среди партнеров или инвесторов, получение преимущества среди конкурентов, совершенствование системы управления компанией. К сожалению, часто это носит формальный характер, высшее руководство может сертифицировать компанию только для «галочки», таким образом обесценивая процесс внутреннего аудита. Работа аудитора заключается не только в обнаружении уязвимых мест и недостатков, но и направлена на выявление внутренних резервов предприятия и для их эффективного распределения.

На примере ООО «Газпром Трансгаз Москва» был проведен анализ существующего внутреннего аудита в Обществе, а также была проведена его оптимизация.

В результате анализа было выявлено, что планирование и прогнозирование на предприятии осуществляется неэффективно, что проводило к задержкам со снабжением, необходимым материалом и сырьем. Снижается объем финансирования работ по управлению качеством. При осуществлении более детального планирования и анализа рабочего времени можно сказать, что в штатном расписании количество сотрудников превышает производственную потребность.

Автором была предложена мотивационная программа Имага. Данная программа позволит достичь таких целей как: совершенствование СМК, сокращение потерь рабочего времени и расходных материалов; улучшение производственных процессов и их оптимизация.

Предлагаемые мероприятия по результатам аудита являются эффективными и могут быть предложены к реализации на предприятии ООО «Газпром Трансгаз Москва».

Суммарная эффективность составляет 14064,2 тыс. руб., 35% от данной суммы планируется направить на развитие системы менеджмента качества.

Литература

1. **Агарков А.П.** Управление качеством. — М.: Дашков и К, 2017. — 208 с.

Е.Е. Кузнецова, студ.;
рук. М.А. Знаменская, ст. преп., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «СПОРТМАСТЕР»)

В условиях современного развития экономики, предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью внедрения эффективной системы управления предприятием в целом и каждым ее элементом отдельно. В 2021 году логистический бизнес оживился: рост на международном направлении составил 16,2%, на внутреннем — 28,8%.

Проведенный анализ конкурентоспособности показывает, что у ООО «Спортмастер» есть преимущества перед основными конкурентами (фирменные магазины Адидас, Найк, Рибок, Интерспорт): более широкий ассортимент, цена ниже, чем у конкурентов, больше всего магазинов, используется больше рекламных средств, чем у конкурентов. Тем не менее можно выделить негативные стороны деятельности компании: не всегда вовремя пополняются запасы, что приводит к отсутствию некоторых товаров в наличии; обновление ассортимента происходит крайне редко; устаревшая информационная система, которая используется для управления продажами. В результате анализа деятельности компании были определены следующие проблемы, которые мешают повышению сбыта товара: снижение сбыта товара в результате пандемии и снижение производительности труда работников.

С учетом выделенных проблем, предлагается внедрить следующие мероприятия:

1. Совершенствование системы складирования и снижения товарных запасов. Упорядочить систему хранения товаров на складе, чтобы ускорить и упростить процессы на складе, сократить время приема и отгрузки товара, а также сократить время поиска товаров на складе при сборе заказов.
2. Повышение производительности труда работников.
3. Повышение эффективности формирования товарного ассортимента.

Предполагается, что в результате предлагаемых мероприятий по совершенствованию бизнес-процесса управления продажами, выручка компании увеличится на 5%, т.е. на 801 990 тыс. руб.

После проведения повторного анализа конкурентов ООО «Спортмастер» и после внедрения предложенных мероприятий выручка компании увеличится на 17,1%, прибыль от продаж на 24,1%, а рентабельность продаж 3,0процентных пункта, оборачиваемость оборотных активов вырастит на 9,1%, коэффициент использования полезной площади вырастит на 3,2%, совокупные логистические затраты в складском хозяйстве сократятся на 13,8%.

Н.Н. Агафонова, студ.;
рук. М.А. Знаменская, ст. преп., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАРКЕТИНГОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ НОВОГО ТОВАРА НА РЫНОК (НА ПРИМЕРЕ ООО «ЭРИГО-СТИЛЬ»)

Маркетинговые мероприятия — это комплекс мер по привлечению клиентов и повышению объемов продаж. Маркетинговые мероприятия необходимы для продвижения товара и решают такие задачи: повышение размера рынка, частоту покупок, доверие ЦА, увеличение рыночной доли.

Разработка маркетинговых мероприятий актуальна для любого бренда, она приводит покупателя, который принесет спрос на товар. Бренды одежды нуждаются в продвижении своих изделий, потому что даже в нестабильных условиях есть спрос на одежду. Продвижение товара — совокупность различных мер, действий, в целях повышения спроса и увеличения сбыта [1].

Обороты Fashion-рынка в России за 2018 год составили 2,36 трлн руб.; за 2019 — 2,29 трлн руб.; за 2020 — 1,71 трлн руб.

В компании Эриго-Стиль имеются следующие маркетинговые мероприятия: мерчендайзинг, реклама в интернете, реклама на ТВ, почтовая рассылка. Среднедневной объем выручки до проведения рекламы на ТВ — 95145,5 тыс.руб. Планируется увеличение среднедневной выручки после проведения рекламных мероприятий на 70%. Расходы на рекламу — 7414640 руб. Дополнительный объем выручки за 180 дней — 3787158 тыс.руб. Прирост прибыли — 521 300 тыс.руб. Экономический эффект — 513 885, 36 тыс.руб. Таким образом, данное мероприятие является неэффективным, поскольку требует достаточно больших затрат.

В ходе проведения анализа, можно сделать вывод, что в компании слабо развита реклама, из-за неэффективных маркетинговых мероприятий, которые требуют больших финансовых затрат. Следовательно, в качестве продвигаемого продукта решено разработать мужскую спортивную одежду и комплекс мероприятий: SEO-оптимизация сайта; Яндекс.Дзен.

Применяя перечисленные выше методы продвижения число хостов вырастет до 7 тыс. уникальных посетителей. А для расчета экономической эффективности был получен показатель среднего чека исследуемого предприятия: 12 тыс.руб. Следовательно, прибыль составит: 13 176 тыс.руб. Затраченные средства — 310 тыс.руб. Совокупная экономическая эффективность составит 12 866 тыс.руб.

Таким образом, предложенные маркетинговые мероприятия для продвижения экономически эффективны, применение SEO-оптимизации, контекстной рекламы Яндекс.Директ, Яндекс.Дзена целесообразно.

Литература

1. **Божук, С.Г.** Маркетинговые исследования: учебник для вузов / С.Г. Божук. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 304 с.

Д.Р. Разумова, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ESG В СОВРЕМЕННОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ

Концепция устойчивого развития с каждым годом оказывает все большее влияние на экономические субъекты, функционирующие в современной экономике. Данный факт обусловлен широким перечнем экологических проблем, накопившихся в современном мире: глобальное потепление, загрязнение почвы, воздуха и воды, вывод из сельскохозяйственного оборота плодородных почв. Обозначенные факторы угрожают современной цивилизации и стимулируют людей к внедрению стандартов сбалансированного развития социально-экономической сферы.

Одним из инструментов, позволяющим адаптировать бизнес к устойчивому развитию, является стандарт ESG. Принципы данной концепции были продекларированы генсеком ООН Кофи Аннаном в 2004 году. В своем докладе «Неравнодушный побеждает» Аннан призвал крупные организации присоединиться к инициативе и включить ESG-принципы в стратегии развития, в первую очередь для решения грядущих общемировых угроз [2, с. 49].

Приоритетной задачей ESG является выстраивание сбалансированных отношений между бизнесом, обществом и окружающей средой в системе современной мировой экономики. Понимая важность и актуальность рассматриваемого инструмента для современного экономического развития, в Российской Федерации предпринимают меры с целью его внедрения в отечественной экономике

Российская Федерация является неотъемлемой частью мировой экономической системы, несмотря на санкционное давление и стремление отдельных государств изолировать страну остального мира. Соответственно внедрение стандарта ESG является актуальным направлением развития для отечественных компаний. Экономика Российской Федерации также нуждается в сбалансированном развитии бизнеса, общества и окружающей среды, так как в стране накопилось множество проблем в сфере экологии. Согласно данным Росприроднадзора, к началу 2020 г. в России было накоплено 38 млрд 73 млн тонн промышленных и бытовых отходов [1, с. 95].

Литература

1. **Боброва О.С.** От устойчивого развития к ESG: опыт европейских компаний и правительство // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 91. С. 94–104.
2. **Петрова Е.С.** Корпоративное управление в системе ESG // Инновации и инвестиции. — № 7. — 2022. — с. 48–52.

Р.Р. Сотников, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

Согласно распоряжению Мэра Москвы [1], а также стратегии «Умный город — 2030» с учетом присоединенных новых территорий электропотребление вырастит с 64,0 до 75,0 млрд кВтч (в 2025 г.), что влечет за собой изменение электрических мощностей.

В настоящее время часть центров питания города Москва в сетях напряжением 6–10–20 кВ полностью исчерпали свои возможности по подключению новых потребителей. Доля перегруженных питающих кабельных линий в послеаварийном режиме составляет более 10%. Кроме того, порядка 30% новых территорий работают на напряжении 6кВ, что увеличивает потери в сети, в следствии чего возникает высокая значимость в модернизации сетевых объектов.

Для реализации проектов модернизации необходимо произвести большое количество различных работ, в том числе на этапе предпроектной подготовки.

В процессе подготовки технических условий или задания, необходимо учитывать многочисленные факторы, влияющие на оценку стоимости выполнения проектных работ. После событий ковидного периода и наложения экономических санкций возникают дополнительные проблемы в логистических цепочках, что негативно влияет на стоимость оборудования и выполненных работ. Так же генеральные заказчики перед выпуском технических документов не консультируются с подрядными организациями по ряду выполняемых этапов проекта, что приводит к срывам сроков выполнения работ и их удорожанию.

В связи с чем актуальной проблемой является анализ риска проектов модернизации сетевого оборудования, влияющих на баланс экономических интересов согласовывающих сторон. Управление рисками обеспечивает минимизацию потенциальных угроз, повышение эффективности и безопасности электрооборудования, а также снижение возможных финансовых и временных потерь в успешной реализации проекта.

Литература

1. **Бирюков П.П.**, Распоряжение Мэра Москвы № 292-РМ от 30 апреля 2020 года «Об утверждении Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2020–2025 годы» / Бирюков П.П, [Электронный ресурс] // Mos.ru: [сайт]. — URL: <https://www.mos.ru/dgkh/documents/skhemy/view/239223220/>

В.А. Никитин, студ.;
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПОРТФЕЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ СТРАН СЕВЕРНОЙ АФРИКИ

К странам региона Северная Африка относятся порядка семи стран, а именно: Марокко, Алжир, Тунис, Ливия, Египет, Судан, Южный Судан. Одной из основных отраслей экономики Северной Африки является промышленность, как тяжёлая: добыча нефти и газа, железной руды, фосфоритов, так и лёгкая: текстиль, химическая и фармацевтическая промышленности.

Электрическая энергия является одним из основных необходимых ресурсов для удовлетворения потребностей общества и экономики. В наши дни электроэнергетику региона обеспечивают углеводороды, поскольку страны региона обладают значительной частью мировых запасов природных энергоресурсов. По данным ЕИА на декабрь 2022 года [1] доля региона в мировых запасах природных энергоносителей составляет 1,7%.

Тем не менее, страны Северной Африки стремятся к сохранению энергетической безопасности, вследствие чего сохраняется необходимость в диверсификации производства электроэнергии. Создание альтернативного способа производства электроэнергии позволит региону нарастить экспорт энергоресурсов за рубеж, либо уменьшить зависимость от импорта энергоресурсов для стран-импортеров, а также эффективнее регулировать тарифы/цены на электроэнергию. Рост внутреннего спроса на электроэнергию, потребности в опреснении морской воды, необходимость снизить зависимость от углеводородов — всё это является основанием для реализации проектов ядерной энергетики в регионе.

Отсутствие необходимого уровня технологий, научно-технического персонала и опыта в сфере ядерной энергетики не позволяет региону заниматься реализацией строительства АЭС самостоятельно, в связи с чем Северная Африка является потенциально выгодным регионом для стран-экспортеров ядерной энергии, в частности для Российской Федерации, в части формирования и расширения портфеля зарубежных заказов.

Литература

1. Energy Information Administration (EIA) — подразделение Министерства Энергетики США, федеральное статистическое агентство, распространяющее информацию об энергии и энергетике / [Электронный ресурс] // [eeseaec.org](https://www.eeseaec.org): [сайт]. — URL: <https://www.eeseaec.org/energetika-regionov-mira/energetika-afriki>

Направление VII

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Energy and economy of enterprises

Руководитель направления:

Директор института
энергоэффективности и водородных
технологий НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Щербатов Иван Анатольевич

Секция 32

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Industrial electric power engineering

Председатель секции: к.т.н., доцент Цырук Сергей Александрович

Секретарь секции: к.т.н. Кулешова Галина Сергеевна

Р.И. Володкин, студ.; рук. Г.С. Кулешова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В «SIMINTECH»

При решении прикладных инженерных задач в электроэнергетике важной задачей является выбор программной среды для компьютерного моделирования описанных математических моделей. Компьютерное моделирование установившихся режимов и переходных процессов в системах электроснабжения потребителей представляется возможным проводить в среде динамического моделирования «SimInTech».

Процесс моделирования в «SimInTech» заключается в составлении компонентных схем модели реальных объектов. Математические модели в «SimInTech» создаются посредством функционально-блочного программирования при помощи блоков, которые содержатся в различных библиотеках. Для моделирования установившихся и переходных режимов работы электрических сетей и систем электроснабжения в программе «SimInTech» наиболее подходящими являются библиотеки «Электросети динамика (ЭЦД)» и «Электросети Статика (ЭЦС)». Принципиально содержание компонентов данных библиотек не отличаются. Библиотека блоков «ЭЦД» используется для расчета мгновенных значений параметров сетей переменного тока, а «ЭЦС» — для расчетов действующих значений параметров режима электрической сети (токи, напряжения, мощности) промышленной частоты в установившихся симметричных режимах. Модели, составленные из блоков библиотеки «ЭЦС», не применимы для расчетов несимметричных режимов и быстрых электромагнитных процессов. Кроме того, данные модели не позволяют получить осциллограммы токов и напряжений в системах электроснабжения. В этой связи моделирование режимов работы электрических сетей и систем электроснабжения целесообразнее проводить с применением блоков из библиотеки «ЭЦД» ввиду её наглядности и удобства использования.

В данной работе проведено математическое моделирование режимов электрических сетей различных конфигураций и отработаны методы их моделирования в «SimInTech». Полученные результаты могут быть применены как научно-исследовательских целях, так и для учебного моделирования.

Литература

1. **Справочная система SimInTech: официальный сайт.** — Москва. — URL: <https://help.simintech.ru> (дата обращения: 31.10.2023).

*М.М. Монтойя, Э.Л. Энсиноса, студенты;
рук. С.А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НОВОЙ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ РФ В ОТНОШЕНИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ СЕКТОРЕ

Одной из ключевых задач энергетической отрасли РФ является развитие энергосбережения и энергоэффективности [1]. В отношении жилищно-коммунального сектора она решается в том числе ведением разумной тарифной политики, призванной стимулировать снижение нерационального потребления и выравнивание суточных графиков нагрузок, для уменьшения потребностей в установленной мощности генерации и сокращения потерь на передачу электроэнергии.

Во времена СССР в сфере ЖКХ устанавливались единые тарифы, то есть неизменные по времени суток независимо от объемов электропотребления. Вероятной причиной такой ситуации с технической точки зрения являлись отсутствие необходимой базы приборов учета, а также невысокий процент участия ЖКХ в электропотреблении по сравнению с другими отраслями народного хозяйства.

В современной России в ЖКХ помимо единых тарифов получили распространение дифференцированные по зонам суток [2], косвенно учитывающие объем электропотребления через разрешенную мощность подключаемых электроприемников, определяемую мощностью вводного автомата. Причем каждый потребитель волен самостоятельно определять по какому тарифу он намерен расплачиваться.

Главным недостатком обоих подходов к формированию системы тарифов является сознательное перераспределение финансовых затрат между участниками рынка электроэнергии: экономически неоправданное снижение тарифов ЖКХ и одновременное их повышение промышленным потребителям (перекрестное субсидирование).

С 2024 года Правительством РФ принято решение введения новых тарифов дифференцированных по объему месячного электропотребления. Таким образом предполагается снижение финансовой нагрузки на российский бизнес, а значит повышение его конкурентоспособности на мировом рынке.

Подобный подход в формировании тарифов не является уникальным и уже реализуется в ряде зарубежных стран.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 28 мая 2008 г. № 400** «О Министерстве энергетики Российской Федерации».
2. <https://www.mosenergosbyt.ru/individuals/tariffs-n-payments/tariffs-msk/kvartiry-i-doma-s-elektroplitami-bez-elektroootopitelnyh-ustanovok.php>

Э.Л. Энсиноса, студ.; рук. С.А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РУССКО-ИСПАНСКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

На фоне происходящего увеличения численности студентов и аспирантов из Республики Куба, обучающихся в НИУ «МЭИ», наблюдается недостаточное знание ими специальных терминов и их трактовок, что затрудняет получение прочных знаний по электроэнергетике и электротехнике. Разработанный двуязычный понятийно-терминологический словарь должен облегчить обучающимся процесс освоения изучаемых дисциплин.

Словарь основан на анализе директивных документов, правил и норм, на монографиях и учебниках, журнальных публикациях, государственных образовательных стандартах и на ряде изданий, рассматривающих общие и специальные вопросы электрооборудования, электроснабжения, электроремонта. Всего обработано более ста текстов объемом свыше двух миллионов словоупотреблений (слов).

В словаре уточнена специфика использования электричества в разных областях деятельности. Уточнены также: общие понятия слова, словоупотребления и словосочетания применительно к объекту исследования; ядро словаря, включая термины, имеющие непосредственное отношение к проектированию, электроремонту, эксплуатации и менеджменту; внешние термины, касающиеся не собственно электрики, но понятийного математического аппарата, при помощи которого моделируют электрическое хозяйство и отдельные его составляющие, оценивают его текущее состояние, прогнозируют развитие и дают рекомендации по инвестициям и управлению.

*М.Е. Николаев, студ.; рук. Д.О. Варламов, ст. преп.
(Московский Политех, Москва)*

МОДУЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ СИТИ-ФЕРМЕРСТВА

Модуль автоматического управления систем сити-фермерства представляет собой инновационное решение, которое позволяет эффективно управлять и контролировать процессы роста и развития растений в городских условиях.

Модуль автоматического управления [1] систем сити-фермерства позволяет автоматизировать основные процессы выращивания растений, такие как полив, подсветка и удобрение, что значительно упрощает и увеличивает производительность работы.

Создание модуля автоматизации для городского сельского хозяйства остается актуальным, поскольку дает ряд преимуществ. Это помогает повысить эффективность за счет сокращения ручного труда, повышает производительность за счет обеспечения точных операций и позволяет лучше управлять ресурсами за счет мониторинга и контроля вводимых ресурсов, таких как вода и питательные вещества.

Помимо городского сельского хозяйства, модули автоматизации могут применяться в различных других контекстах. Например, в тепличном хозяйстве, системах аквапоники, вертикальном земледелии. Цель заключается в повышении производительности, снижении затрат и минимизации вмешательства человека в выполнение задач.

Ключевые блоки модуля автоматизации: ESP32 [2] с модулем Wi-Fi, температура (DS18B20) [3], влажность (HTU21D) [4], таймер реального времени, ультразвуковой датчик расстояния (HC-SR04), pH-метр. Эти блоки позволяют модулю функционировать как домашнему устройству, с возможным подключением к системе «Умный дом». А также делать из устройства промышленный модуль, с объединением в одну большую сеть, с отслеживать и корректировать параметры каждой фермы отдельно. Вывод данных будут производиться на встроенный жидкокристаллический дисплей, а также по интернет связи на ваше устройство.

Литература

1. **В.И. Гаркушенко, Г.Л. Дегтярев.** Теория автоматического управления: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 274 с.
2. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
3. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
4. https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899_HTU21D.pdf

А.А. Дюдяков студ.; рук. С.А. Янченко, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ФИЛЬТРОМ НА ОСНОВЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА, УСТОЙЧИВЫЙ К ИСКАЖЕНИЯМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Гибридные фильтры (ГФ) [1] представляют собой комбинацию пассивных фильтров (ПФ) и активных фильтров (АФ), что позволяет объединить достоинства и исключить недостатки обоих подходов. В результате обеспечивается эффективность снижения высших гармоник (ВГ) мощных нелинейных нагрузок, широкие возможности регулирования характеристик подавления при изменении структуры сети и уровней гармонической эмиссии, исключается возникновение параллельных резонансов с емкостью ПФ, снижается стоимость устройства.

Для реализации ГФ используются различные системы управления [1], но наиболее широкое распространение в виду простоты и надежности получили алгоритмы на основе теории мгновенной реактивной мощности (p - q регулирование). Значительным недостатком данных алгоритмов является существенное снижение эффективности ГФ при несимметричном или несинусоидальном напряжении сети [2]. Вместо распространённого подхода к вычислению опорного тока, основанного на фильтрации ВГ в системе $\alpha\beta$ координат, предлагается алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана, который обеспечивает быструю и точную идентификацию ВГ с устойчивостью к искажениям напряжения сети.

В рамках работы при помощи моделирования в среде MATLAB-Simulink проанализирована работа ГФ с системой управления на базе p - q регулирования в реальных условиях электрической сети с ухудшенным качеством электроэнергии: при наличии несимметрии и несинусоидальности напряжения сети.

Также при помощи моделирования в среде MATLAB-Simulink подтверждена эффективность работы предложенного алгоритма управления на основе фильтра Калмана по отношению к p - q регулированию в установившемся режиме при подавлении токов ВГ в реальных условиях электрической сети с ухудшенным качеством электроэнергии.

Литература

1. Singh, Bhim & Chandra, A. & Al-Haddad, Kamal. (2015). Power Quality Problems and Mitigation Techniques. Power Quality Problems and Mitigation Techniques. 1-582. 10.1002/9781118922064
2. Watanabe, Edson & Aredes, M. & Akagi, Hirofumi. (2004). The p - q theory for active filter control: some problems and solutions. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica. 15. 10.1590/S0103-17592004000100010.

Ю.Ю. Захаров, асп.; рук. Д.В. Михеев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Из теории электромагнитного поля известно, что электромагнитные возмущения (колебания) во всякой электрической системе распространяется с конечной скоростью. Если передача электромагнитной энергии по коаксиальной линии электропередачи происходит высоким напряжением, а также повышенной частотой, то ток, не будет иметь одного и того же значения вдоль всей длины коаксиальной линии электропередачи [1]. Обусловлено данное обстоятельство влиянием емкости коаксиальной линии электропередачи, а также тока утечки (проводимости) вследствие несовершенства изоляции между проводниками. Поэтому мгновенная величина напряжения в высоковольтной коаксиальной линии электропередачи с конечными размерами принципиально не может быть одинакова. В результате исследования выявлены зависимости, что при неодинаковом значении тока и не одинаковом значении наводимой электродвижущей силы самоиндукции падение напряжения, отнесенное к единице длины коаксиальной линии электропередачи повышенной частоты, в разных точках коаксиальной линии повышенной частоты будет соответственно иметь разное значение.

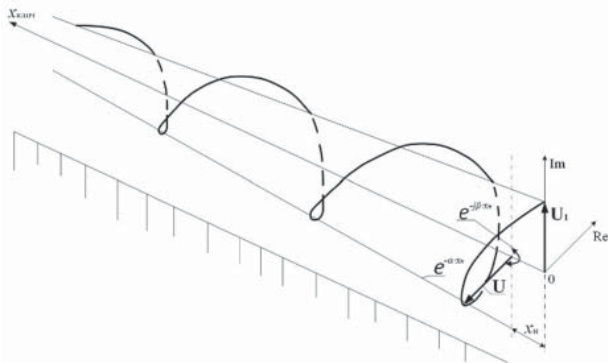


Рис. 1. Изменение напряжения вдоль коаксиальной линии повышенной частоты

Литература

1. Захаров, Ю.Ю., Лепешкин А.Р. Исследование распределений тока повышенной частоты при различной конфигурации проводников линии передачи / Ю.Ю. Захаров, А.Р. Лепешкин // Промышленная энергетика. — 2022. — № 9. — С. 2–11. — DOI 10.34831/EP.2022.56.44.001

Н.А. Немчинов, студ.; рук. Д.В. Михеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ КАТУШКИ-КОНДЕНСАТОРА(КАТКОНА)

Ограничение токов короткого замыкания является эффективным способом минимизации рисков повреждения оборудования. Снижение значения аварийного тока обеспечивает благоприятные условия для отключения повреждённого участка сети и ограничивает разрушающее термическое и электродинамическое воздействие на электротехническое оборудование, что позволяет на этапе проектирования или реконструкции использовать оборудование, требующее меньших капиталовложений, а использование каткона позволяет сократить капиталовложения на ТОО (около 10%) по сравнению с другими конфигурациями [1].

Применение токоограничивающего устройства (ТОО) рассматривается для участков сети с профицитом короткого замыкания, например для предприятий, имеющих собственную генерацию или вблизи электростанций, входящих в ЭЭС [2].

Как и любой проект, применение токоограничивающего оборудования должно быть экономически оправданно. Как правило, за показатель экономической эффективности берётся срок окупаемости (не более 5 лет).

При оценке срока окупаемости берётся полная стоимость ТОО, включающая стоимость оборудования и монтажа ($K_{\text{ТОО}}$), стоимость применяемого основного оборудования с применением ТОО ($C'_{\text{об}}$) и без ($C_{\text{об}}$), среднегодовые финансовые потери от повреждения электротехнического оборудования с применением ТОО ($C'_{\text{фп}}$) и без ($C_{\text{фп}}$), среднегодовые потери электроэнергии в ТОО ($\Delta W_{\text{ТОО}}$), стоимость электроэнергии ($C_{\text{ээ}}$) и норма дисконтирования (E).

Оценка экономической эффективности проводится согласно (1):

$$\sum_{n=1}^5 \left(\frac{C'_{\text{об}} - C_{\text{об}} + C'_{\text{фп}} - C_{\text{фп}} - \Delta W_{\text{ТОО}} \cdot C_{\text{ээ},n}}{(1 + E)^n} \right) - K_{\text{ТОО}} > 0 \quad (1)$$

Оценка экономической эффективности применения ТОО на базе каткона была приведена для различных сценарных условий и конфигураций сети.

Литература

1. **Михеев Д.В.** Математическое и физическое моделирование электротехнических комплексов на основе каткона (катушки-конденсатора): дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03. Москва, 2019. 217 с.
2. **Жуков, В.В.** Координация уровней токов короткого замыкания в схемах электроснабжения предприятий при создании собственной генерации / В.В. Жуков, В.Д. Кузнецов // Энергетик. — 2015. — № 9. — С. 37–39. — EDN ULEAVN.

М.Д. Харабурова, асп.;
рук. Е.Н. Рыжкова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ СЕТЕЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНОГО ТОКА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Переход к режиму резонансного заземления нейтрали нормируется ПУЭ, и этот способ организации нейтрали широко распространен в распределительных сетях 6–35 кВ России. Известны достоинства компенсированных сетей: снижение тока в месте повреждения до величины, при которой вероятность повторного зажигания дуги исключена или очень мала, снижение скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе, что также снижает вероятность повторных пробоев изоляции. Эти достоинства в полной мере проявятся только при острой настройке в резонанс с емкостью сети.

Однако несмотря на это, число аварийных отключений в таких распределительных сетях находится практически на уровне сетей с изолированной нейтралью. Причин этому может быть несколько, здесь приведен ряд наиболее вероятных.

1. Низкая эксплуатационная надежность систем автоматической настройки компенсации серийных реакторов и отсутствие квалификационных испытаний этих устройств.
2. Высокая степень естественной несимметрии сети, которая не устраняется, несмотря на требования ПУЭ, перед включением ДГР, что приводит к возникновению перекомпенсации и также высоким значениям дуговых перенапряжений и биениям фазных напряжений.
3. Возможность насыщения магнитных систем ДГР различных типов при высоких расстройках и возникновения в этой связи феррорезонансных процессов.
4. Высокий уровень гармонических составляющих в токе замыкания, исключаящий возможность гашения дуги, и отсутствие эффективных систем подавления искажений.

Часть из этих проблем может быть решена использованием активно-адаптивных систем автоматики на основе управляемого резистивного заземления нейтрали. Так, были предложены технические решения по повышению точности и быстродействия устройств определения расстройки компенсации [1], а также теоретически обоснована возможность использования фильтрокомпенсирующих устройств нового типа.

Литература

1. [Электронный ресурс] URL: <https://fips.ru/EGD/a79b1aad-f94a-4ae9-ba15-9063af9d7dd7>.

А.А. Бобряков, асп.; рук. Ю.В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИНДЕКСОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Для осуществления бесперебойного электроснабжения потребителей, энергетическим компаниям необходимо максимально точно определять требующее ремонта и технического воздействия оборудование, что в свою очередь, требует максимально точного определения величины физического износа данного оборудования. Для расчета физического износа, применяется такой показатель, как индекс технического состояния (далее — ИТС), являющийся количественной оценкой технического состояния оборудования или объекта электроэнергетики, определяемый на основании фактических данных. ИТС определяется по методике [1] и может принимать значения в диапазоне от 0 (наихудшее значение) до 100 (наилучшее значение) с округлением до целого числа по правилам математического округления.

Авторами проведен анализ фактической статистики аварийных отключений воздушных линий 110 кВ (далее — ВЛ), ПАО «Россети Московский Регион» за период с 01.01.2023 по 11.08.2023 и исследована взаимосвязь аварийных отключений со значениями ИТС. В ходе анализа, из общего количества (223 отключения) были исключены отключения, причинами которых являлись погодные условия, а также внешние механические воздействия, так как данные факторы не учитываются при расчете ИТС. Итоговое количество анализируемых отключений составило 23 (9,87% от общего количества). Причинами отключений данных ВЛ явились — повреждения в результате длительной эксплуатации (срок службы, превышающий нормативный, 12 случаев, 52,17%), перекрытие вследствие загрязнения (7 случаев, 30,44%), прочие причины (4 случая, 17,39%). При этом, двенадцать ВЛ (52%) имели ИТС более 70 (состояние оборудования «хорошее», для такого состояния оборудования рекомендуемый тип технического воздействия «по результатам планового диагностирования»), что позволяет сделать вывод о возможности корректировки действующей методики расчета ИТС.

Литература

1. **Приказ Министерства энергетики РФ от 26.07.2017 г. № 676** «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» (с изменениями и дополнениями) 17 марта 2020 г.

В.В. Шаржанов, студ.;
рук. С.А. Цырук, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Электроснабжение является необходимым условием для эффективной работы предприятий по водоснабжению и канализации. Эти предприятия зависят от электрической энергии для многих задач своей работы, таких как подача и перекачка воды и сточных вод, очистка воды и управление оборудованием. Несмотря на значительные усилия по повышению стабильности в электроснабжении, кратковременные перерывы (провалы) в электроснабжении все еще возникают. Для решения этой проблемы в работе были собраны экспериментальные стенды, которые позволяют провести исследования по провалам напряжения. Стенды реализованы на базе трех независимых однофазных автотрансформаторов, а также трех твердотельных реле. Благодаря применению данных элементов, были проанализированы результаты при однофазных, двухфазных и трехфазных провалах напряжения в сети.

В работе проведено исследование критического времени перерыва электроснабжения для резервированных систем, оснащенных быстродействующими устройствами противоаварийной автоматики [1]. Также представлено решение по повышению надежности электроснабжения ответственных промышленных потребителей электроэнергии при помощи попарно-параллельной работе трансформаторов цеховых подстанций [2].

Результаты исследования, а также предложенные варианты по решению проблемы с провалами напряжения могут быть применены на предприятиях водоснабжения и канализации с целью уменьшения издержек предприятий, а также для повышения надежности и непрерывности электроснабжения ответственных потребителей и агрегатов.

Литература

1. **Tsyruk, S.A., Gamazin, S.I., Ryzhkova, Y.N., Charafeddine, K.F.** Determination of Source Fault Using Fast Acting Automatic Transfer Switch. 12th International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines”, Dynamics 2018. 8601484. DOI: 10.1109/Dynamics.2018.8601484
2. **С.А. Цырук.** Автоматизация расчетно-экспериментальных исследований переходных процессов в системах промышленного электроснабжения с электродвигательной нагрузкой: дис. канд. техн. наук: 05.09.03. — Моск. энерг. ин-т (МЭИ), Москва, 1989 — 132 с.

Ю.А. Измайлов, асп.; рук. Ю.В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Настоящий доклад посвящен оценке возможностей сельскохозяйственного потребителя электроэнергии применения механизма управления спросом. Потребитель вправе получать вознаграждение за управление своей нагрузкой согласно ПП РФ от 20.03.2019г. N 287 [1], а Федеральный закон №516-ФЗ от 02.11.2023 предусматривает внедрение целевой модели управления спросом на электроэнергию. В настоящее время в управлении спросом в основном задействованы промышленные предприятия, а расширение участников данного механизма становится все более актуальным вопросом. Одними из секторов в котором возможно применение механизма управления спросом является сельское хозяйство. Система орошения, которая характеризуется большим количеством насосного оборудования, является самым энергоёмким и гибким потребителем электроэнергии в сельском хозяйстве [2]. Проектные решения ирригационных систем накладывают барьеры на участие в управлении спросом, наиболее гибкой является система спроектированная для обеспечения пика потребности сельскохозяйственных культур в воде без необходимости в непрерывной работе. Дополнительными барьерами для участия в управлении спросом являются отсутствие современных средств связи на сельскохозяйственных угодьях, а также падения напряжения в распределительных сетях. Для преодоления барьеров в управлении спросом ирригационными системами предлагаются следующие решения: 1) установка накопительного резервуара воды с самотечным орошением; 2) построение локальной сети связи с использованием современных источников, например глобальной спутниковой системы Starlink; 3) установка частотно-регулируемого привода на насосное оборудование; 4) внедрение дистанционного управления насосным оборудованием; 5) установка возобновляемых источников энергии, а также накопителей электроэнергии; 6) использование фотоэлектрических насосов.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 20.03.2019 № 287** «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации ...» // <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=376546#oD0bkfTsmcxTlXyp1>
2. Hessam Golmohamadi Agricultural Demand Response Aggregators in Electricity Markets: Structure, Challenges and Practical Solutions- a Tutorial for Energy Experts // *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy* (2020) 5: 17 <https://doi.org/10.1007/s40866-020-00091-7>

Секция 33

ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Energy of heat technologies

Председатель секции: к.т.н., доцент Степанова Татьяна Александровна

Секретарь секции:

к.т.н., доцент Строгонов Константин Владимирович

Е.А. Бобрус, студ.;
рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Конвертерные газы — высокопотенциальные вторичные энергоресурсы, так как считаются побочными горючими газами металлургического производства. Эти газы состоят почти на 80% из оксида углерода двухвалентного (угарного газа) и содержат большое количество пыли, из чего следует, что у них невысокие значения низшей теплоты сгорания [1].

Теплота, выделяемая при сжигании конвертерных газов, может быть использована для получения горячей воды или насыщенного водяного пара. Для такой утилизации конвертерных газов разработано три способа дожигания. Они основаны на разной степени поднятия «юбки» конвертера[2].

При полном дожигании «юбка» максимально поднята, конвертерный газ дополнительно получает большое количество воздуха, что приводит к полному переходу СО в СО₂.

При частичном дожигании после конвертера газ частично насыщается воздухом, проходит через охладители и систему очистки. Очищенный газ подается на свечу, где полностью дожигается и выбрасывается в окружающую среду.

Без дожигания схема подразумевает строительство герметичного газоотводящего тракта, так как по нему будет идти смесь, которая в сочетании с воздухом может привести к взрыву. Конвертерные газы проходят через ОКГ и систему очистки, далее направляются в газгольдер, где усредняется состав газа, который далее используется в виде топлива.

Литература

1. **А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, А.В. Клименко, О.Л. Данилов, В.Ф. Очков, А.Г. Вакуленко.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник. — 4-е изд., перераб и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2021. — 504 с.
2. **В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев.** Общая металлургия. Учебник для вузов. — 6-изд. перераб и доп. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. — 768 с.

*К.В. Поломошнов, студ.; рук. А.А. Валинеева, ст. преп.;
рук. П.В. Хорева, доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРЕРАБОТКА КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В РДФ ТОПЛИВО С ПОСЛЕДУЮЩИМ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНЕРГИИ И ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

В последнее время проблемы энергоресурсосбережения и утилизации накопленных отходов все чаще пересекаются и требуют радикального решения [1]. В связи с этим была разработана экспериментальная технология безотходной утилизации твердых коммунальных отходов с целью получения плавленного цементного клинкера путем их переработки в альтернативное РДФ топливо и последующим сжиганием в многоцелевом плавильном агрегате МАГМА [1]. Схема разработанной технологии представлена на рисунке 1.

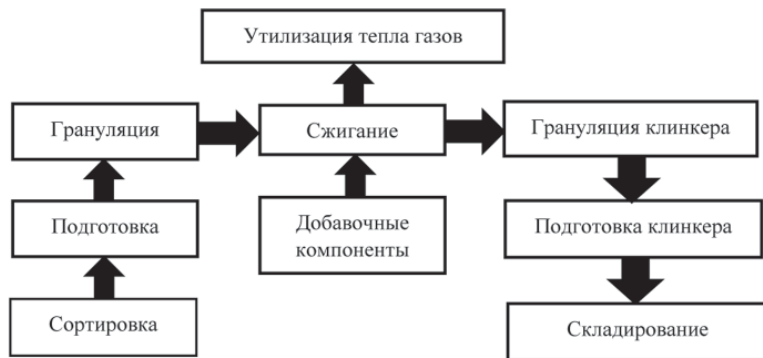


Рис. 1. Схема технологии переработки ТКО в РДФ

Принцип работы технологии следующий: коммунальные отходы поступают в цех сортировки, после которого проходят несколько стадий подготовки перед грануляцией в РДФ топливо. Подготовленные гранулы загружаются в плавильный агрегат МАГМА, на выходе из которого получается плавленный клинкер, охлаждающийся в грануляторе. Теплота отходящих газов утилизируется в котлах-утилизаторах, а клинкер отправляется в мельницу и далее на склады готовой продукции. В качестве окислителя для данного процесса используется технический кислород с коэффициентом окислителя 0,95, получаемый путем низкотемпературной ректификации [1].

Литература

1. **Кикава О.Ш.** Утилизация золы и шлака мусоросжигательных заводов. Москва: Изд-во «СигналЪ», 2000, 44 с.

В.А. Мурашов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В П-ОБРАЗНОМ ВАКУУМАТОРЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В текущий момент разрабатывается энергоэффективный САНД (сталеплавильный агрегат непрерывного действия) [1], включающий в себя зону внепечной обработки стального расплава, а в частности П-образный вакууматор непрерывного действия (рис. 1) [2].

В процессе дегазации жидкого металла, его температура падает, как за счёт теплопотерь через обмуровку, так и с продувкой инертными газами. Однако в рамках технологического процесса температура расплава перед МНЛЗ (машиной непрерывного литья заготовок) должна быть строго соблюдена, для чего дополнительно может применяться перегрев или подогрев расплава, который в свою очередь может негативно сказаться на качестве конечного продукта [3].

Исходя из этого определение температуры расплава после дегазации и температурных полей в вакууматоре, в том числе и посредством численного моделирования в Ansys, является важной задачей, которая позволяет проверить правильность подбора толщин изоляции и расчёта теплопотерь через неё.

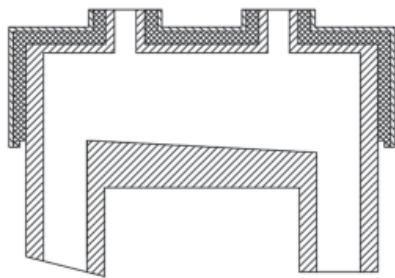


Рис. 1. Эскизный чертёж вакууматора непрерывного действия П-образного типа

Литература

1. Патент № 2760199 Российской Федерации МПК51 С21В 13/06 Агрегат непрерывного получения стали / Строгонов К.В., Корнилова Л.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «НИУ «МЭИ»; № 2020144107; опубл. 22.11.2021, Бюл. № 33.
2. Заявка на изобретение № 2760199 Агрегат непрерывного вакуумирования стали / Строгонов К.В., Мурашов В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «НИУ «МЭИ».
3. Искаков И.Ф., Бигеев В.А., Столяров А.М., Ложкин И.А., Федянин А.В., Кошкаргов А.А., Зарецкий М.В. Динамика изменения температуры и окисленности металла при ковшевой обработке особонизкоуглеродистой стали // Сборник трудов XVII международного конгресса сталеплавателей и производителей металла «От руды до стали — ISCON-2023», 03–07 апреля 2023г, Магнитогорск: Изд-во ООО «Корпорация АльянсМеталлургия», 2023. — С. 60–61.

Н.С. Гладышев, студ.; рук. А.А. Валинеева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ГАЗИФИКАЦИЯ RDF-ТОПЛИВА

В современном мире становится все более актуальной проблема утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО), которые накапливаются в городах и промышленных зонах. Процесс их переработки является не только экологически важным, но и может принести экономическую выгоду. На сегодняшний день одним из перспективных методов переработки и утилизации ТКО является получение RDF — топливных пеллет.

Однако, существенная проблема при производстве RDF заключается в необходимости утилизации остаточных фракций и зольного остатка при сжигании. Это приводит к росту затрат на переработку и снижению экономической и экологической эффективности. В связи с этим возникает необходимость в разработки новых технологий обращения с ТКО и RDF.

Данная проблема решена за счет газификации RDF. Газификация — это процесс преобразования твердого топлива в синтез-газ. Синтез-газ, представляет собой горючую газовую смесь, состоящую в основном из водорода и монооксида углерода. Газификационная установка позволяет произвести высококачественный газ, который может быть использован в различных процессах — от производства электроэнергии до горячего водоснабжения.

Целью работы являлось изучение способов газификации RDF, выбор наиболее оптимального метода, разработка концепции газификационной установки для этой цели. В исследовании были рассмотрены такие вопросы как состав RDF и его теплотехнические характеристики, особенности процесса газификации, анализ экономических показателей и экологических последствий [1].

В таблице приведенной ниже представлен состав получившегося генераторного газа при $t=1000^{\circ}\text{C}$ и $p=1$ атм.

Состав синтез-газа, %					
CO	H ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	SO ₂
19,174	21,617	10,379	19,334	29,413	0,083

Результаты данной работы могут быть использованы в сфере производства энергии и в переработке твердых коммунальных отходов, что приведет к экономической и экологической выгоде в данном секторе народного хозяйства.

Литература

1. Попов С.К., Ипполитов В.А. “Процессы и установки газификации топлива”.

С.Э. Шавадзе, студ. ;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В РЕАКТОРЕ ПИРОЛИЗА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Переработка твердых коммунальных отходов (ТКО) методом пиролиза часто осуществляется в печах шахтного типа. В результате образуется газообразное топливо и твердый углеродистый остаток. Получаемое газообразное топливо используется на собственные нужды установки и отводится потребителям.

Нами разработана математическая модель шахтной печи пиролиза ТКО, которая реализована в программном комплексе ANSYS FLUENT.

При моделировании слой ТКО рассматривался как условное изотропное пористое тело с переменными эффективными теплофизическими свойствами. При определении эффективных теплофизических свойств была учтена убыль массы ТКО, образование твердого углеродистого остатка и изменение порозности слоя.

Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от температуры приведена на Рис. 1. Рассчитанное на модели температурное поле ТКО в процессе переработки представлено на Рис. 2.

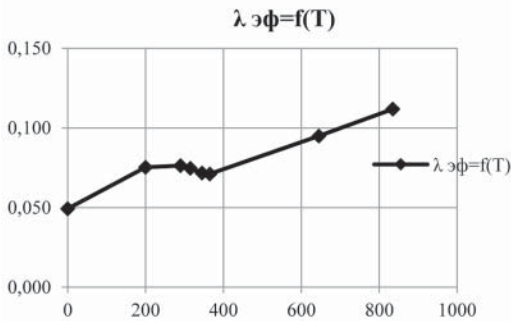


Рис. 1. График зависимости эффективного коэффициента теплопроводности от температуры

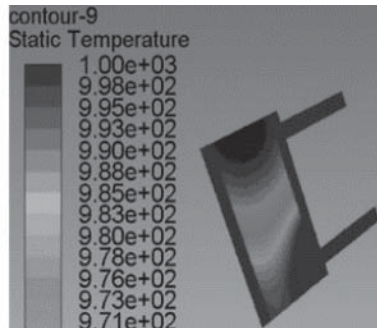


Рис. 2. Результаты моделирования.

Литература

1. **Колибаба О.Б., Сокольский А.И., Габитов Р.Н.** Исследование сушки слоя твердых бытовых отходов в процессе термической переработки // Вестник Череповского Государственного Университета, начн. Журнал. — 2015 — № 3. — С. 21.
2. **Горинев О.И., Колибаба О.Б., Долинин Д.А., Габитов Р.Н., Самышина О.В., Скворцов И.А.** Патент РФ №2645029 Установка для термического разложения несортированных твердых органических отходов. Оpubл.: 15.02.2018, Бюл. № 5.
3. **Власов О.А., Мечев В.В.** Анализ работы сжигания отходов // Твердые бытовые отходы, Журнал. — 2017. — Т. 2. — С. 199–202.

М.В. Поляков, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКТОРА ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ В СИСТЕМЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ

Термохимическая рекуперация теплоты (ТХР) высокотемпературных газовых отходов на основе паровой конверсии (ПК) природного газа обеспечивает в промышленных печах существенную экономию топлива [1]. Процесс ПК реализуется в каталитических реакторах. Количественной мерой эффективности ПК является степень конверсии метана, зависящая от режимных и конструктивных параметров реактора, в том числе от времени контакта реакционной смеси τ_{res} , кг катализатора-с/(моль CH_4) [2].

В данной работе решена актуальная задача оптимизации реактора ПК в системе ТХР топливной печи при температуре отходящих газов в диапазоне 900...1500°C. Критерий оптимизации — минимум суммы финансовых затрат, учитывающей издержки на первичное топливо, кислород, катализатор, питательную воду для генерации пара, а также на электроэнергию, затрачиваемую на преодоление гидравлического сопротивления реактора ПК по конвертируемому потоку. Стоимость катализаторов составляет в среднем 1000 USD за тонну. Катализатор является расходным материалом в реакторах, так как отработанный катализатор должен заменяться на свежий. В качестве первичного топлива рассмотрен метан — основной компонент природного газа.

Оптимизирующие переменные — молярный расход метана, моль $\text{CH}_4/\text{с}$; удельный объемный расход пара, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \text{CH}_4)$; величина τ_{res} ; давление продуктов конверсии на выходе из реактора ПК, МПа.

В процессе оптимизации использованы математическая модель печи с системой ТХР в среде Mathcad и CFD-модель реактора ПК в среде ANSYS Fluent.

Энергосберегающий эффект ТХР оценивался из сопоставления расхода первичного топлива в печи с ТХР с аналогичным расходом в печи с термической рекуперацией на основе подогрева окислителя для горения.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке энергосберегающих высокотемпературных установок.

Литература

1. **Попов С.К.** Термохимическая рекуперация в высокотемпературной теплотехнологии: монография / С.К. Попов. — М.: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Pashchenko D.** Experimental investigation of reforming and flow characteristics of a steam methane reformer filled with nickel catalyst of various shapes // Energy Conversion and Management. — 2019. — Т. 185. — С. 465–472.

Г.Г. Смолин, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

КОНВЕРТОРНЫЙ ГАЗ КАК ТОПЛИВО

Конвертерный газ — побочный продукт при производстве конвертерной стали, в настоящее время на предприятиях СНГ с конвертерным производством стали недостаточно эффективно используются ресурсы конвертерного газа как топлива, что не соответствует мировым тенденциям. В данной работе рассмотрена актуальность использования конвертерного газа как топлива, способного заменить природный газ, что сделает производство более экологичным, а также даст возможность снизить затраты на закупку природного газа.

Состав газа: 90% CO; 10% CO₂; температура конвертерных газов колеблется от 1400 до 1800 °С; выход газа составляет 60–80 м³/т стали. Среднее содержание пыли в газе 60 г/м³ [1].

Для замены природного газа нужно сравнить температуру жаропроизводительности и температуру горения другого топлива. Результаты расчётов указаны в таблице 1.

Температура жаропроизводительности и горения [2]:

$$t_{ж} = \frac{Q_{н}^p}{\sum V_{пг} \cdot c_{пг}}, t_{г} = \frac{Q_{н}^p + V_{ок} \cdot t_{ок} \cdot C_{ок} + C_{т} \cdot t_{т}}{\sum V_{пг} \cdot c_{пг}},$$

длина факела [3]: $h = r \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta} - 1};$

скорость горения [3]: $u_{н} = \frac{w_{ср} \cdot r}{\sqrt{r^2 + h^2}}.$

Таблица 1. Расчетные значения некоторых газообразных топлив

Наименование	Прир. газ	Конв. газ	Дом. газ	Кокс. газ	Водород
$Q_{н}^p, \text{кДж/м}^3$	34660	11340	3600	17910	10800
$t_{ж}, \text{°C}$	2042	2267	1365	2105	1999
$t_{г}, \text{°C}$	2055	2280	1380	2118	2012
$U_{н}, \text{м/с}$	0,352	0,416	0,342	1,744	2,572

Таким образом, конвертерный газ является важным энергетическим ресурсом и топливом металлургических предприятий, который на данный момент не используется.

Литература

1. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов.
2. URL: <https://studfile.net/preview/1970980/page:5/>
3. URL: <https://helpiks.org/6-27099.html>

В.А. Мучник, студ.; рук. А.А. Валинеева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ТОРРЕФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ

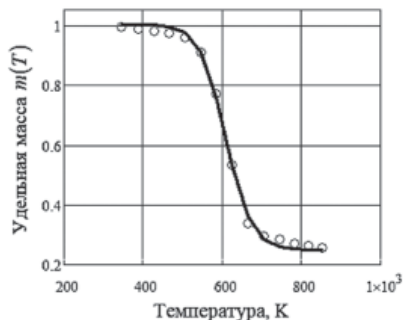


Рис. 1. Температурная зависимость удельной массы частицы

зависимость удельной остаточной массы образца от температуры (кружки на рис. 1). Предположено, что процесс торрефикации описывается уравнением химической реакции n -го порядка. При обработке данных ТГА по модифицированному методу ИГИ [1] с использованием метода наименьших квадратов получено:

$$n = 1,507; A = 4772 \text{ c}^{-1} (\ln A = 8,47); E = 71,25 \text{ кДж/моль}, \quad (1)$$

где A , E — предэкспоненциальный множитель и энергия активации в уравнении Аррениуса. Соответствующая расчетная зависимость показана на рис. 1 сплошной кривой. Найденные значения кинетических параметров (1) обеспечивают адекватное воспроизведение опытных данных, что подтверждается низким уровнем среднеквадратичного отклонения: 0,016.

Полученные результаты будут использованы при разработке реакторов торрефикации.

Литература

1. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. М: Изд-во Моск. гос. гор. ун-та, 2003.

А.А. Ушакова, А.К. Бастынец, студ.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРНИССАЖА

Одним из основных методов значительного снижения себестоимости готовой продукции является увеличение долговечности и энергоэффективности технического оборудования, что особенно актуально для высокотемпературных реакторов.

Так, огнеупорный блок на уровне зеркала расплава в стекловаренных печах изнашивается из-за коррозии и влияния высоких температур, что приводит к тому, что огнеупор «выедается» и доходит до критической толщины, что является основной причиной остановки печи на капитальный ремонт [1].

В целях продления работы печи предлагается использовать принудительное охлаждение наружной поверхности огнеупора, который позволяет организовать гарниссаж. Принципиальная схема работы гарниссажа заключается в том, что за счет подвода теплоносителя, обеспечивается существенный тепловой поток из реактора через ограждения, что приводит к образованию в пристеночной области затвердевшего слоя расплава. Конструктивно ограждение состоит из стенки, на которой навариваются шипы, и теплоизоляционной набивки (рис. 1) [2].

Предложенное мероприятие по установке принудительного охлаждения футеровки с энергетической точки зрения менее эффективно за счет роста потерь через ограждения на 116%, однако длительность кампании увеличивается, что приводит к повышению валового дохода за период работы печи в 2 раза.

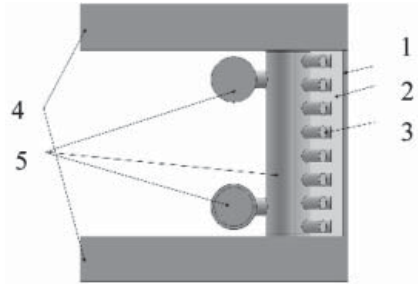


Рис. 1. Схема гарниссажной футеровки на огнеупорной набивке:

- 1 — гарниссаж; 2 — огнеупорная набивка;
- 3 — ошиповка охлаждаемых труб;
- 4 — огнеупор; 5 — водоохлаждаемые трубы

Литература

1. **Д.В. Бекназарян, К.В. Строгонов.** Прогнозирование состояния тепловой изоляции плавильной зоны печей ванного типа: монография / СПб.: Научное издание, 2023. — 132 с.
2. **Сборщиков Г.С., Крупенников С.А.** Теплотехника: расчет и конструирование элементов промышленных печей: Учеб.-метод. пособие. — М.; МИСиС, 2004. — 179 с.

*Д.В. Породовский, А.А. Разинков, аспиранты;
рук. С.В. Лукин, д.т.н., проф.*

(Череповецкий государственный университет, Череповец)

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В НАСАДКЕ КАУПЕРА РЕГЕНЕРАТОРА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Установка сжигания конвертерного газа состоит из двух теплообменников по типу кауперов доменных печей. Конвертерный газ сжигается в первом регенераторе, нагревая кирпичную насадку. Далее на нагрев переводится второй регенератор, а в первом нагревается воздух, идущий затем к потребителям теплоты.

В насадке кауперов проложены вертикальные каналы круглого поперечного сечения с диаметром d и высотой H , достигающей несколько десятков метров. Рассмотрим алгоритм численного расчета температурных полей насадки регенератора, греющего газа и нагреваемого воздуха по явной конечно-разностной схеме. [1]

1. Насадка разбивается на N участков длиной:

$$\Delta z = H / N,$$

где H — высота насадки, м.

2. Задается временной шаг:

$$\Delta t = \Delta z / w_{\max},$$

где w_{\max} — максимальная скорость движения среды в канале, м/с.

Моменты времени нумеруются индексом k :

$$t_k = k \cdot \Delta t, k = 0, 1, 2, \dots, K,$$

где K — полное число временных узлов.

3. Определяются конечно-разностные аналоги температуры насадки, газа и воздуха в периоды разогрева и охлаждения каупера.

Для численного моделирования были взяты следующие параметры: $H = 20$ м, $N = 60$, $\Delta t = 0,025$ с, $K =$. Данными параметрами можно варьировать при составлении модели, что позволит определить оптимальные геометрические параметры каупера для сжигания всего объема конвертерного газа за один цикл работы конвертера.

Таким образом, с помощью программного обеспечения Python можно построить математическую модель, позволяющую температурные поля насадки регенератора, греющих газов и нагреваемого воздуха.

Литература

1. Лукин С.В., Шестаков Н.И., Породовский Д.В., Разинков А.А. Моделирование тепловой работы регенеративного теплообменника для утилизации теплоты сжигания конвертерного газа // Металлург. 2022. № 7. С. 90–97.

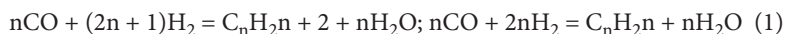
*В.С. Королев, асп.; М.В. Балакина, студ.;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ЖИДКОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ ОТХОДОВ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

В работе рассматривается разработка технологической схемы и принцип использования газовых отходов конвертерного производства стали при использовании процесса энергохимической аккумуляции (ЭХА) для производства жидкого синтетического топлива [1].

Энергохимическая аккумуляция — это процесс физико-химического взаимодействия высокотемпературных газовых отходов с природным газом или другими углеводородсодержащими веществами с целью превращения их в топливный газ широкого применения [2]. Целью данной работы является разработка технологической установки и её математическое моделирование для производства синтетического топлива с использованием программного комплекса Aspen Hysys.

Получение жидкого синтетического топлива основано на использовании каталитического реактора, где происходят реакции восстановительной олигомеризации оксида углерода:



Технической задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является использование CO_2 , образовавшегося в ходе конвертерных процессов, для получения синтез-газа с последующей выработкой жидкого синтетического топлива, основанного на синтезе углеводородов и оксида углерода и водорода (процесс Фишера-Тропша). Технический результат состоит в снижении прямых выбросов CO_2 и получении СЖТ.

Работа выполнена в рамках проекта при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. секция «Водородная энергетика».

Литература

1. **Патент РФ на изобретение № 2800904 (РФ)**, МПК7: С21С 5/38. Способ утилизации конвертерных газов для производства жидкого топлива из водородсодержащего синтез-газа. Патент на изобретение (РФ), МПК7. / С.Н. Петин, В.С. Королев, А.А. Борисов, А.В. Бурмакина, А.Г. Гашо — Заявл. 2022132312 от 09.12.2022; опубл. 31.07.2023. Бюл. № 22.
2. **Попов С.К., Петин С.Н., Бурмакина А.В., Стогов П.А.** Энергохимическая аккумуляция высокотемпературных газовых отходов // Теплоэнергетика. 2019. № 2. С. 51–62.

*Е.В. Кузина, студ.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Потери металла на угар и окалинообразование в прокатном производстве составляют до 6%, что причиняет производству ущерб, заключающийся в безвозвратной потере металла.

Одним из наиболее перспективных путей решения данной проблемы является использование индукционного нагрева, а именно: совмещенного газового нагрева в печи и догрева заготовки в индукционной установке с защитной атмосферой [1].

Настоящая работа направлена на моделирование и исследование процесса нагрева стальной заготовки от 650 °С до температуры прокатки 1100 °С в индукционной установке с кожухом, который заполнен защитной средой, футерованным теплоизоляционным материалом с металлическим каркасом. Результаты численного моделирования индукционного нагрева сортовой заготовки в защитной атмосфере представлены на рисунке 1:

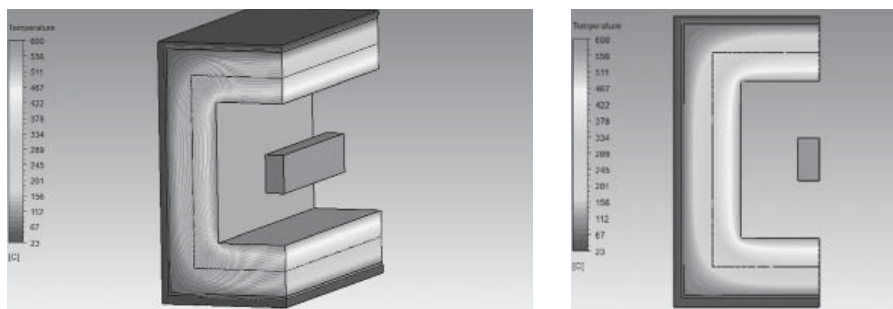


Рис. 1. Исследование температурных полей в Ansys

В результате численного моделирования создана математическая модель индуктора по подогреву сортовых заготовок сечением 150x150 мм., успешно проведено термическое исследование.

Предлагаемое технологическое решение используется для промежуточного нагрева, который служит для выравнивая температуры в заготовке, что обеспечивает повышение качества продукта, а также для снижения доли угара металла по предварительным оценкам с 6% до 0,4%).

Литература

1. **Демидович В.Б.** Теория, исследование и разработка индукционных нагревателей для металлургической промышленности. СПб.: 2002.

Д.Д. Львов, асп.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ АГРЕГАТА ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Ежегодное увеличение объемов мирового производства стали (в среднем на 1%) сопровождается высокими выбросами вредных веществ в атмосферу. Так же, доменно-конвертерный способ производства стали сопровождается высокой энергоемкостью, оцениваемой около 1852 кг. у.т./ т. продукции. В связи с этим, проблема экологически чистого, энергоэффективного и ресурсосберегающего производства стали стоит как никогда остро.

Одним из перспективных решений, позволяющего добиться сравнительно низкой энергоемкости производства стали и выбросов вредных веществ в атмосферу, является технология жидкофазного восстановления железа природным газом.

В работе [1] представлен эскиз сталеплавильного агрегат непрерывного действия (САНД). Данная конструкция установки обладает большим количеством преимуществ, а именно: организация всего процесса в одном агрегате; сравнительно низкие тепловые потери, за счет реализации возврата теплоты в рабочее пространство; низкая металлоёмкость установки и низкие выбросы CO₂. В связи с этим, была разработана детальная 3-d модель агрегата жидкофазного восстановления железа, представленная на рисунке 1.

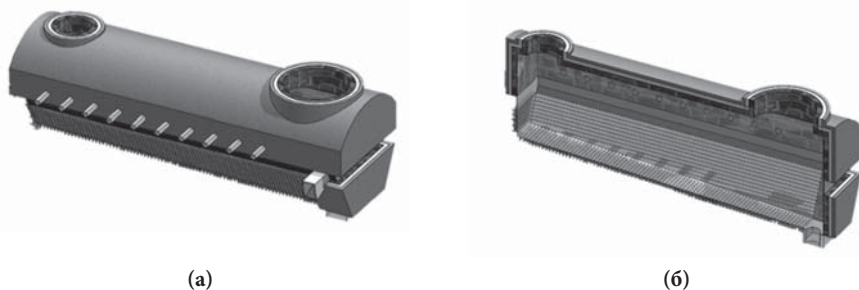


Рис. 1. 3-d модель сталеплавильного агрегата непрерывного действия
(а) — триметрический вид; (б) продольный разрез

Получены габаритны разрабатываемой установки.

Литература

1. **Konstantin V. Strogonov, Andrey A. Borisov, Viacheslav A. Murashov, Dmitry D. Lvov.** Calculation of individual elements of enclosing structures of a continuous steelmaking unit // Paper presented at the Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering.

А.Ю. Крюков, студ.;
рук. А.И. Сокольский, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА В СУШИЛЬНОМ БАРАБАНЕ

Барабанные сушилки используются в различных отраслях промышленности из-за надёжности, простоты обслуживания и высокой производительности. Однако, экономичность процесса может быть проблемой, особенно при обезвоживании угля, песка, глины, известняка, и других материалов. Решающим фактором является правильная организация всей технологической цепочки, включая выбор и эксплуатацию вспомогательных устройств и механизмов. Важно также учитывать грансостав твёрдых частиц и провести подготовку влажного материала перед сушкой для большей однородности и эффективности процесса.

Достоинства газовых барабанных сушилок: высокая производительность и надёжность в работе, применимость для сушки продуктов широкого диапазона крупности, сушка продуктов при высоких температурах нагретых газов.

Предприятие АО «Ковдорский ГОК» оснащён сушильным барабаном марки УСБ 3,5*27 для сушки железорудного концентрата с начальной влажностью до 10% рассчитанного на производительность до 160 т/ч. Возникла необходимость увеличить производительность аппарата до 190 т/ч по сухому веществу. С этой целью был проведён поверочный расчет барабана на заданную производительность, т.е. определить достаточность рабочего объема барабана для осуществления процесса сушки. В результате расчета получено:

Температура теплоносителя на входе в барабан — 1150°C

Температура теплоносителя на выходе — 110°C

Расход топлива (мазут М 100) — 0,41 кг/с

Расход воздуха на разбавление $G = 19000 \text{ м}^3/\text{ч}$

Расход воздуха на горение $G = 23060 \text{ м}^3/\text{ч}$

Необходимый объем барабана $V = 104 \text{ м}^3$

Действительный объем барабана $V = 260 \text{ м}^3$

Таким образом, расчеты показывают, что имеется возможность увеличить производительность сушильного барабана на 20%.

Литература

1. **Сокольский А.И., Барулин Е.П., Лебедев В.Я., Рогов М.Г.** Поверочный расчет барабанной сушилки. Межвуз. сб. науч. трудов “Процессы в дисперсных средах”, Иваново, ИГХТА, 1997, с. 81–82.

*Б.К. Черепенькин, студ.; рук. С.В. Матвеев, инж.
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск)*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОЧИХ ТЕЛ ГТУ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Теплотехнология производства стали в дуговых электрических печах требует очень высокого расхода электроэнергии. Это делает актуальным исследование вопросов снижения затрат электроэнергии, например за счет ее генерации на теплоте жидкой стали. Принципиально возможно генерировать электроэнергию на теплоте жидкой стали с высокой эффективностью в цикле замкнутой газотурбинной установки (ГТУ).

В данной работе ставятся задачи сравнительной оценки рабочих тел ГТУ замкнутого цикла и выбора наиболее эффективного рабочего тела. Оценивались такие показатели как: температура рабочего тела после сжатия в компрессоре, температура рабочего тела после расширения в газовой турбине, действительная работа газотурбинного цикла, термический КПД газотурбинного цикла, масса газа на 1 тонну стали и количество электроэнергии, вырабатываемой с 1 тонны стали.

В работе проводилась сравнительная характеристика таких теплоносителей как: гелий, углекислый газ, азот, воздух, неон, аргон, криптон, ксенон и наиболее перспективная бинарная гелий-ксеноновая смесь. Теплофизические свойства газов были взяты по [2, 3].

По результатам расчетов и сопоставления полученных данных в виде графиков, сделан вывод, что наиболее эффективным рабочим телом для ГТУ замкнутого цикла является гелий-ксеноновая смесь.

Использование данной смеси позволяет получать до 154 кВт·ч электрической энергии с каждой тонны разливаемой стали.

Литература

1. **Картавец С.В.** Термодинамическое проектирование тепловой схемы на примере утилизации теплоты жидкой стали / С.В. Картавец, С.В. Матвеев, Е.Г. Нешпоренко // Промышленная энергетика. — 2020. — № 1. — С. 12–17.
2. **Чиркин В.С.** Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. М: АТОМИЗДАТ, 1968. 485 с.
3. **Егоров К.С., Степанова Л.В.** Теплофизические свойства смесей благородных газов с низкими числами Прандтля // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2019 г.

И.И. Феоктистов, асп.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВАНИИ ЕГО СЖИГАНИЯ В КАЛОМЕТРИЧЕСКОЙ БОМБЕ

Современные энергетические и промышленные комплексы оказывают существенное влияние на экологию планеты. Повсеместный переход к углерод-нейтральной энергетике должен обеспечить снижение антропогенного влияния на изменение мирового климата [1].

В основе такой энергетики предлагается использовать водород. Однако водород не является ресурсом, находящимся в природе в доступном для использования виде, его необходимо производить. Одним из наиболее перспективных способов производства водорода является газификация твердого топлива без выбросов CO_2 в атмосферу. Для обеспечения эффективной и экологичной работы газификатора идет активная разработка и внедрение технологий улавливания, использования и хранения углерода (Carbon capture, use and storage — CCUS) [2].

Элементный состав твердого топлива оказывает существенное влияние на эффективность процесса газификации и состав генераторного газа. Его достоверное определение является основополагающим для проведения мероприятий по предварительной подготовке топлива и выбора технологии CCUS после его переработки и использования.

В основе существующих методов определения элементного состава лежит сжигание пробы в кислороде и последующая фиксация количества выделившегося диоксида углерода и воды [3]. В калометрической бомбе основываясь на теплоте сгорания возможно определить содержание в пробе горючих элементов, а исходя из зольного остатка и влаги возможно оценить содержание примесей. Данный метод предполагает комплексную оценку свойств различных твердых топлив, их теплоты сгорания и элементного состава.

Литература

1. **В.М. Зайченко** Развитие водородной энергетики в России // Зайченко В.М., Исьемин Р.Л., Чернявский А.А., Цыплаков А.И. — М.: ООО «Издательский дом Недра», 2021. — 71 с.
2. **Д.Ю. Гамбург, Н.Ф. Дубровкин** Водород. Свойства, получение, транспортирование применение: справочник. М.: Химия, 1989.
3. **ГОСТ 2408.1-95 (ИСО625-96)** Межгосударственный стандарт. Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода (утв. и введен в эксплуатацию постановлением Комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации 01.02.1996 № 50) (ред. от 01.02.2000) // Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

*А.А. Чечушкин, студ.; Е.Г. Нешпоренко, к.т.н.;
рук. С.В. Картавец, д.т.н., проф. (МГТУ, Магнитогорск)*

ПАРОВАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНА В ПОТОКЕ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Конвертерный газ — это вторичный энергоресурс конвертерного производства стали на металлургическом предприятии. Имея в своем составе около 90% окиси углерода, данный газ может быть применен как восстановитель или топливо.

Основными проблемами, по которым применение конвертерного газа затруднено, являются высокая температура и запыленность. На выходе из конвертера температура отходящего потока составляет свыше 1650°C. При выходе конвертерного газа на уровне 60–80 м³/т уносится около 11 МДж/м³ химической энергии и физической теплоты на уровне 2,5 МДж/м³ [1].

Для дальнейшего использования в настоящее время температуру газа снижают с помощью охладителя конвертерного газа (котел-утилизатор). Одним из возможных вариантов снижения температуры конвертерного газа может стать паровая конверсия метана в потоке высокотемпературного конвертерного газа. При этом в составе продуктов реакции будут существенно преобладать окись углерода и водород. Такой состав позволяет утилизировать конвертерный газ как восстановитель [2].

Восстановленные в потоке конвертерного газа железорудные материалы могут быть направлены в доменную печь. Содержащаяся на уровне 150 г/м³ пыль также будет восстановлена в потоке. Подача восстановленных железорудных материалов в доменную печь замкнет цикл: чугуна из доменной печи подается в конвертер, а восстановленные за счет конвертерного газа железорудные материалы поступают в доменную печь.

Кроме чугуна в конвертер поступает известь в размере 80 кг/т. Конвертерный газ возможно применить для обжига извести как самостоятельное топливо. При этом сокращается расход природного газа, что ведет к его экономии [3].

Литература

1. **Картавец С.В.** Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА: Монография. Магнитогорск, МГТУ, 2000. 188 с.
2. **Нешпоренко Е.Г.** Горения и конверсия топлив в промышленных теплоэнергетических установках: учеб. пособие / Е.Г. Нешпоренко, С.В. Картавец. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. Гос. Ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 63 с.
3. **Чечушкин, А.А.** Регенеративное направление утилизации конвертерных газов на металлургическом предприятии / А.А. Чечушкин // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 16–18 марта 2023 года. Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023. С. 624.

Н.С. Мольков, асп.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МОНИТОРИНГ КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ УЗЛА УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

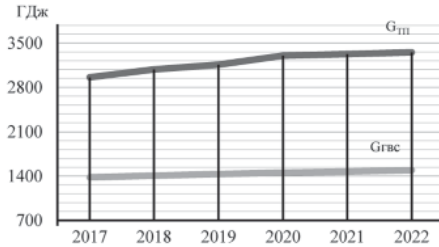


Рис. 1. Изменение годового потребления теплоносителя

Повышение энергоэффективности зданий позволяет снизить потребление тепловой энергии на нужды отопления и кондиционирования, в ряде случаев в несколько раз. Класс энергоэффективности здания (КЭЭ) — показатель, характеризующий количество и качество использования энергоресурсов в пределах рассматриваемого сооружения.

Целью работы является разработка программного комплекса по определению КЭЭ здания в рамках заданного интервала времени (год, месяц, неделя, сутки) на основе фактических значений потребления энергетических ресурсов, полученных с помощью коммерческих узлов учета [1]. Программный комплекс позволяет сформировать базу данных и проследить динамику энергопотребления здания в режиме реального времени, а также определить его фактический КЭЭ.

Целью работы является разработка программного комплекса

В качестве объекта исследования взят девятиэтажный 2^х секционный жилой дом, расчетное количество жителей — 135 человек. Основные показатели, влияющие на тепловую нагрузку системы отопления и ГВС: разница температур наружного и внутреннего воздуха, продолжительность отопительного периода и среднесуточное потребление ГВС. Исходя из тенденции увеличения годового потребления теплоносителя с 2017 по 2022 год (рис. 1), делается вывод о росте теплопотерь здания и потреблении тепловой энергии.

Целью работы является разработка программного комплекса

Разработанный программный продукт позволил определить КЭЭ, как «С» в 2017 г, а также обосновать его понижение до «Е» в 2022 г. На основе этих выводов Ростехнадзором могут быть выданы предписание по проведению энергетического обследования здания с целью разработки мероприятий по приведению его показателей к классу «С» и выше.

Литература

1. **Н.С. Мольков, О.Б. Колибаба, П.А.Шомов.** Методология определения класса энергетической эффективности здания на основе показаний приборов коммерческого учета тепла и электроэнергии — Иваново: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии», т. 2, 2023 с. 312–315.

Д.В. Ладанюк, студ.; рук. А.А. Валинеева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КАМНЕЛИТЕЙНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ С ПОПУТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Каменное литьё — это процесс создания изделий из камня путем заливки расплавленного каменного материала в формы и их последующего отверждения.[1]

Получение каменного литья связано с высоким температурным уровнем расплава. Температура отходящих газов может достигать 1350–1400°С. Поэтому кажется логичным объединить процесс получения каменного литья с попутной выработкой электроэнергии используя тепло уходящих газов.

Такой подход позволяет выделить ряд преимуществ, а именно:

1. Экономия энергоресурсов. Использование тепла уходящих газов позволяет значительно снизить расходы на производство электроэнергии и повысить рентабельность.
2. Экологическая безопасность. Тепло уходящих газов используется для производства электроэнергии вместо выброса в атмосферу.
3. Независимость от внешних поставщиков электроэнергии.

Исходя из поставленной задачи, автором был проведен тепловой и конструктивный расчет котла утилизатора, 3D модель которого представлена на рисунке 1.

Подобный подход может стать примером устойчивого и экологически чистого производства, снизить негативное воздействие на окружающую среду.

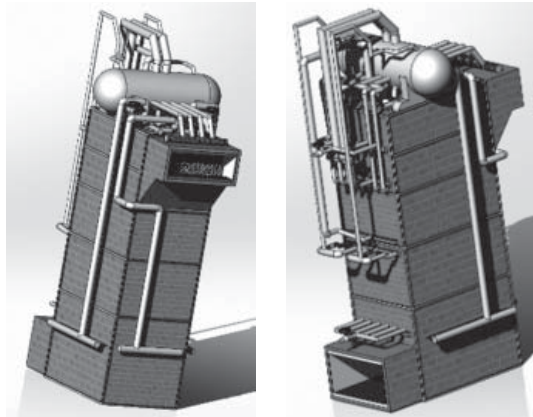


Рис. 1. Общий вид котла утилизатора

Литература

1. Каменное литье / В.В. Вагин, Б.И. Пирогов. — Москва: Машгиз, 1962. — 95 с. : ил.; 21 см.

И.А. Аминаева, асп.;
рук. Е.Г. Нешпоренко, к.т.н. доц. (МГТУ им. Г.И. Носова)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ВИДИМЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА

В промышленности сегодня активно применяются различные тепловые технологии при разных уровнях температуры. Многие из действующих теплотехнологий в своем развитии повышают уровень температур. Так, производство первичного железа в доменном процессе на уровне 1500°C в перспективе может осуществляться вне домы в процессах жидкофазного восстановления на уровне 1600–1700°C. Теплотехнология производства цемента имеет уровень 1500°C и может выйти на производство плавяного цементного клинкера с температурным уровнем 1700–1800°C. В ограждениях с принудительным охлаждением резко возрастают тепловые потери в окружающую среду, которые в тепловом балансе агрегата достигают 15÷25%, а при восстановительной плавке до 30÷35%.

Применение охлаждения основных элементов конструкций в теплотехнических объектах черной металлургии увеличивает потери тепла через ограждения, но спасает их от износа. Например, в тепловом балансе доменной печи потери тепла с охлаждающей водой составляют 3÷5%, в нагревательной печи прокатных станов 20÷30%, в сталеплавильных печах 17÷20% [1], а в печах цветной металлургии применение гарниссажа привело к возрастанию этих потерь от 12÷15 до 40÷75%.

В работе проведено исследование влияния тепловых потерь через ограждение высокотемпературной технологической установки на видимый расход топлива. Получено, что такое влияние носит экспоненциальный характер, особенно в случае с обработкой высокотемпературного расплава технологического материала [2]. При увеличении доли потерь с 10 до 30% расход топлива может возрастать более чем на порядок в зависимости от располагаемой теплоты топлива, что делает постановку задачи разработки энергоэффективного теплотехнического принципа снижения тепловых потерь через ограждение высокотемпературного технологического реактора актуальной.

Литература

1. **Ключников А.Д.** Энергетика технологии и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с.
2. **Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В.** Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 153 с.

М.Ю. Шевяков, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКТОРА ЭХА С УЧЕТОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО УНОСА

Современная промышленность активно меняется из-за экологических показателей производства. В программах государств [1] уделяется внимание развитию водородной энергетики как одного из основных факторов декарбонизации. Анализ [2] показывает, что использование водорода может быть эффективным при высоких налогах на выбросы парниковых газов, требуются более экономичные методы производства водорода, включая использование конвертерных газов сталеплавильного производства.

В [3, 4] предлагаются способы использования отходов металлургического производства для получения водородосодержащего синтез-газа. Преобразования высокотемпературных газовых отходов в процессе физико-химического взаимодействия при добавлении природного газа для превращения отходов в синтез-газ называют энергохимической аккумуляцией (ЭХА). В [5] представлена схема производства водорода с использованием ЭХА.

Для разработки конструктивного облика реактора ЭХА, используемого в схеме представленной в [5], создается кинетическая модель реакций ЭХА с учетом каталитического уноса Fe_xO_y в программе ASPEN HYSYS на основе экспериментальных данных [4]. Данная модель позволит перейти к разработке конструктивных особенностей реактора ЭХА. Производство водорода предлагаемым способом оценивается до 130 тыс. $nm^3/ч$ при производстве стали 10 млн т/год.

Литература

1. **Энергетическая стратегия России на период до 2035 года.** [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf
2. **Петин, С.Н.** Моделирование процессов горения природного газа и водорода / С.Н. Петин, В.С. Королев, А.А. Борисов, А.В. Бурмакина // Промышленная энергетика. — 2022. — № 12. — С. 36–44. DOI: 10.34831/EP.2023.75.53.004.
3. **Бальдауф, М.** Патент на изобретение № 2569105, МПК F27D17/00, C21C5/38, F23J15/00. Способ обработки отходящего газа, содержащего диоксид углерода / М. Бальдауф, Т. Мачуллат. Заявлено. 02.01.2012; опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
4. **Такаги, К.** Патент на изобретение № 2536123, МПК7 C21C5/38. Способ и устройство для охлаждения отходящего газа / К. Такаги, Х. Саима, М. Ясухиро, М. Ясуо. — Заявлено 12.05.2009; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.
5. **Петин, С.Н.** Разработка способа производства водорода на базе газовых отходов конвертерного производства стали / С.Н. Петин, А.А. Борисов, Д.Д. Голдобин, В.С. Королев, А.В. Бурмакина // Промышленная энергетика. — 2023. — № 6. — С. 32–42. DOI: 10.34831/EP.2023.75.53.004.

*А.П. Мунин, асп.; К.В. Березина, студ.;
рук-ли Н.А. Озеров, к.т.н., доц., А.В. Кульбякина, к.т.н., доц.
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)*

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

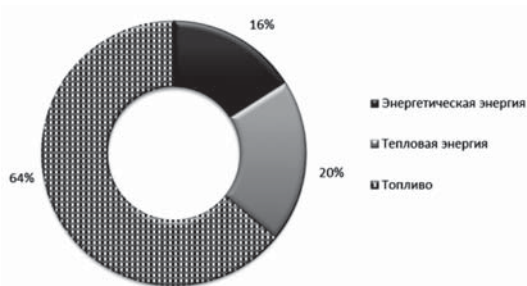


Рис. 1. Доля энергетических ресурсов в общем потреблении на НПЗ

составляющей в себестоимости отдельных категорий товарной продукции, достигает более 50% [1].

Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что доля потребления топлива в общем потреблении ЭР является преобладающей, высока также доля потребления тепловой энергии. В свою очередь электрическая энергия, потребляемая в меньшей степени, является полностью сторонним ЭР, в отличие от тепловой энергии и топлива (Рис. 1) [2].

Таким образом, внедрение собственных энерго-ресурсоэффективных систем энергообеспечения позволит снизить себестоимость продукции, тем самым повысить ее конкурентоспособность на мировом рынке, а также повысить степень экологической безопасности объекта за счет утилизации ВЭР и производственных отходов.

Литература

1. **Мунин, А.П.** «Исследование эффективности собственных систем энергообеспечения предприятий переработки нефти с утилизацией ВЭР и выработкой энергетических ресурсов» Энергия-2022. Иваново, 11–13 мая 2022 года.
2. **Кульбякина А.В., Озеров Н.А., Мунин А.П.** «Анализ структуры систем теплоснабжения предприятий переработки нефти» Вестник КРСУ. 2021 г. Том 21. № 4 ВАК.

Н.А. Морозов, Н.А. Давкина, асп.;
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц. (СГТУ, Саратов)

НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СТЕКЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Предприятия по производству стекла в России активно внедряют собственную генерацию по причине энергоемкости и высокой загрузки производства. В структуре энергопотребления предприятий большая часть затрат приходится на процесс стекловарения [1]. Практически все крупные производители стекла ставят перед собой задачи по снижению затрат на энергию и сокращению выбросов парниковых газов. Ожидается, что получат распространение экономические инструменты (углеродный налог и (или) торговля квотами на выброс парниковых газов) [2]. Такие затраты вносят существенный вклад в себестоимость итоговой продукции независимо от типа выпускаемого стекла.

Способ по улучшению энергетических и эксергетических показателей для разных производств и процессов различны. Примеры, когда несколько производств, в общем и целом, сходных по структуре и объему, обладают существенными различиями в энергопотреблении, вовсе не единичны, но существуют общие методы снижения энергозатрат.

Рассматриваются пути по усовершенствованию системы по производству стекла, требующие значительных вложений и изменений в производственные процессы по утилизации тепла отходящих газов с последующим производством электрической и тепловой энергии. Это позволит в наибольшей степени использовать теплотворную способность топлива. Однако, сложной и актуальной остается проблема оценки эффективности внедряемых мероприятий по энергосбережению [3].

Литература

1. **ИТС 5-2022** Производство стекла: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Издание официальное. — Москва: Бюро НДТ, 2022. — 140 с.
2. **Секин, С.В.** Листовое стекло: возможности повышения энергоэффективности и ограничения выбросов парниковых газов в производстве и в процессе применения // Зелёные проекты: Ситуационные исследования: альманах / Центр экологической промышленной политики. Том Выпуск 2. — Москва: Деловой экспресс, 2021. — С. 52–61.
3. **Грунтович, Н.В.** Оценка энергоэффективности модернизации производства листового стекла // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. — 2013. — № 4(55).

*Д.Д. Голдобин, М.А. Кислицын, аспиранты (НИУ «МЭИ»),
П.В. Чемякин, рук. группы новых технологий
(ЗАО «НПП Машпром»);
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОВОЗДУШНОЙ И ПАРОКИСЛОРОДНОЙ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработка отечественных технологий производства водорода из природного газа является важной задачей, стоящей перед отечественной энергетической и смежными отраслями. Решение задачи позволит диверсифицировать использование крупных запасов углеводородного сырья для производства высокомаржинальных продуктов нефтегазохимической отрасли высоких переделов для дальнейших переделов или на экспорт для коммерческой реализации.

Из-за ухода с отечественного рынка большого количества зарубежных поставщиков оборудования возникла необходимость развития отечественных эффективных, надежных и низкоуглеродных технологий производства водорода окислительной конверсией из природного газа и наукоемких узлов (таких как горелочные устройства и химические реакторы).

Для создания таких отечественных технологий необходима разработка в современных программных комплексах конечно-элементных моделей процессов каталитической окислительной конверсии природного газа с разными окислителями. Валидация таких моделей должна проходить с результатами физического эксперимента и воспроизводить их результаты. Параметры выходной газовой смеси, строение факела и других химических и кинетических параметры процесса могут использоваться для верификации модели с результатами эксперимента.

Для разработки конечно-элементной модели каталитической окислительной конверсии природного газа в работе представлены результаты обработки экспериментального исследования каталитической паровоздушной и парокислородной конверсии природного газа. Экспериментальное исследование проводилось на производственной площадке в г. Нижний Тагил ЗАО «НПП Машпром», которое имеет опыт разработки установки производства водорода на 250–500 $\text{nm}^3/\text{ч}$ водорода [1].

Литература

1. **Клышников, С.Т.** Установка для получения водорода из природного газа и водяного пара / С.Т. Клышников, Б.Г. Кукуй, П.М. Вайсблат и др. // Сталь. 2010. № 3. С. 114–115.

И.С. Матяшова, студ.;
рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ПАРА КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА

Кислородно-конвертерный цех — это комплекс отделений, которые последовательно осуществляют технологические операции по выплавке стали в конвертерах и ее разливке. Процесс выплавки стали заключается в продувке жидкого чугуна кислородом. Образующийся в процессе плавки конвертерный газ выходит из конвертера через горловину. Температура конвертерного газа колеблется в пределах 1600–1800°C [1].

Поскольку температура газов на выходе из конвертера высокая, а перед газоочисткой она не должна превышать 200–300°C, то их следует охлаждать. Для этого после конвертера устанавливается система отвода и очистки отходящих газов, которая включает ОКГ — охладитель конвертерных газов (котел-утилизатор и расположенную за ним систему газоочистки) [2].

В котле-утилизаторе теплота конвертерных газов расходуется на нагрев и испарение воды. Далее газы идут на очистку, а вот утилизация пара происходит в зависимости от температуры и давления. Например, пар при стабилизированном давлении подают в теплообменник, где он нагревает воду до 95–100°C, затем воду подают потребителям теплоты по трубопроводу. При этом избыток конденсата собирают в баке сбора конденсата или же в регулятор сброса давления. В этом регуляторе при понижении давления и температуры часть конденсата сбрасывают в канализацию, а при повышении давления и температуры конденсат подают в бак сбора дренажа для завершения цикла утилизации пара.

В целях экономии затрат предприятия на выработку электроэнергии предлагается установка пароперегревателя после котла-утилизатора, таким образом можно улучшить параметры технологического пара. Перегретый пар после пароперегревателя будет направляться в паровую турбину для выработки электроэнергии. Так утилизация энергии конвертерных газов увеличит долю собственного производства электроэнергии.

Литература

1. **А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев, А.В. Клименко.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Учебник — 4-е изд., перераб и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2021. — 504 с.
2. **В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев.** Общая металлургия. Учебник для вузов. — 6-изд. перераб и доп. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. — 768 с.

*Н.А. Давкина, Н.А. Морозов, аспиранты;
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц. (СГТУ, Саратов)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ ЗА СЧЕТ ПОДГОТОВКИ ШИХТОВОГО МАТЕРИАЛА

Топливная система в производстве стекла играет решающую роль в обеспечении эффективной и экономичной работы всего производственного процесса. Эффективность процесса плавки напрямую связана с характеристиками шихты, такими как ее химический состав, гранулометрический состав и влажность. Топливная система отвечает за обеспечение необходимого тепла для плавления сырья и превращения его в расплавленное стекло [1].

Правильная подготовка шихты имеет решающее значение для качества последующего стекла. Ингредиенты должны быть тщательно выбраны и пропорционально сведены вместе. Более того, плавление шихты должно происходить при строго контролируемых температурах, чтобы гарантировать, что все вещества растворяются и смешиваются равномерно. Несоблюдение этих условий может привести к дефектам в итоговом продукте [2].

Усилия по оптимизации подготовки шихты могут привести к повышению топливной эффективности, снижению затрат на электроэнергию и снижению выбросов парниковых газов при производстве стекла. Кроме того, технологические достижения, такие как использование современных датчиков и средств автоматизации, могут помочь в мониторинге и контроле топливной системы в режиме реального времени, что еще больше повысит общую эффективность.

Таким образом, зависимость топливной системы от подготовки шихты подчеркивает взаимосвязанный характер различных факторов в производстве стекла. Тщательно управляя и оптимизируя как топливную систему, так и загружаемый материал, производители стекла могут добиться устойчивых и экономически эффективных производственных процессов [3].

Литература

1. **Дзюзер В.Я.** Теплотехника и тепловая работа печей: Учебное пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2016.
2. **Сивко А.П.** Технология электролампового стекла. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2015.
3. **Шенец Е.Л.** Оценка энергоэффективности промышленных печей на основе моделирования режимов потребления топлива // Энергетика. Ивз. Высш. учеб. Заведения и энерг. Объединений СНГ. 2022.

А.Д. Неумоин, асп.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Проблема повышения энергетической эффективности с каждым годом становится более актуальной. Потребность в рационализации потребления источников энергии, а также снижения в их доле невозобновляемых источников, заставляет искать технологии, которые позволяют добиться поставленных задач и при этом оставаться экономически целесообразными.

Одним из инженерных методов повышения энергетической эффективности зданий является использование тепловых насосов компрессионного действия [1]. Технология не имеет широкого применения в России, но представляет интерес для изучения и анализа.

В работе рассматривается вариант энергообеспечения 2-х этажного жилого дома площадью 200 м² от теплового насоса с теплоносителем «грунт-земля» с вертикальным расположением замкнутого контура.

Целью исследования является разработка алгоритма расчета и создание программного комплекса, который позволяет оценивать эффективность применения теплового насоса в индивидуальном жилищном строительстве. Алгоритм расчета позволит учесть неоднородность характеристик грунта, полученных на основании геологических изысканий.

В работе рассматривается тепловой насос с тепловой мощностью 19 кВт с вертикальным контуром, установленном в 20 скважинах длиной 20 метров. Скважины установлены частично на участке дома, частично под домом сеткой с размерами 25 x 20 м. Согласно данных геологических изысканий принята двухслойная модель грунта (верхний слой от 0 до -10 м — Мягко пластичный суглинок, нижний слой -10 до -20 м — водонасыщенный пылеватый песок). Мощность коллектора составила 20,5 кВт, потребляемая электрическая мощность при максимальной нагрузке составляет 5 кВт.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании аналогичных установок, а также при реконструкции существующих зданий с целью повышения энергоэффективности.

Литература

1. **Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А.** Энергоэффективные здания — состояние, проблемы и пути решения — Иваново: ПресСто, 2016. — 276 с.

Д.Л. Безбородов, соиск.;
рук. А.Б. Бирюков, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА СПЕКАНИЯ НА ЛЕНТОЧНОЙ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЕ

На агломерационных машинах для организации процесса спекания используется твёрдое топливо, которое на начальном периоде спекания требуется зажечь [1]. Для зажигания, как правило, используется газообразное топливо, которое подаётся в верхний слой. Достижение необходимого уровня температур в верхнем слое осуществляется с помощью создания первоначальных условий для горения твёрдого топлива шихты. Это становится возможным, когда в атмосфере зажигательного горна содержится свободный кислород (не менее 5%).

В работе авторами рассматривается вопрос поиска «правильного» соотношения между количеством тепловой энергии, которое вносится в слой за счёт горения газообразного топлива в период зажигания и теплом, выделяемом при горении твёрдого топлива, находящегося в составе агломерационной шихты.

Получение исходных данных осуществляется на основе разработанной компьютерной модели, которая была опробована на созданной физической модульной лабораторной установке.

В связи с возможным использованием на агломерационных комбинатах различных видов газообразного топлива (природный, доменный, коксовый), а также различной их рыночной стоимости и разной степени доступности проведен подбор рациональных вариантов соотношений приходных и расходных статей энергетического баланса процесса спекания, который обеспечил бы выпуск качественного продукта при приемлемых затратах денежных средств.

При применении результатов работы [2] экономический эффект достигается за счет снижения количества возврата на 5–10%, снижения расхода твёрдого топлива для однослойной шихты на 0,5–0,7%.

Литература

1. **Фролов, Ю.А.** Теплотехнические аспекты процесса агломерации / Ю.А. Фролов // Сталь. — 2003. — № 12. — С. 2–11.
2. **Безбородов Д.Л., Сафьянц С.М., Сафонова Е.К. [и др.]**. Патент на полезную модель № 31566 Украина, МПК С22В 1/20. Способ зажигания агломерационной шихты : № u200714571 ; заявл. 24.12.2007 / ; заявитель Донецкий национальный технический университет.

А.В. Чибисова., А.О. Жучков, студенты;
рук. О.И. Горинов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНЫХ ТЕПЛОБМЕННИКОВ

В задачу расчета радиационных теплообменников входит определение температуры подогреваемого воздуха [1]. При этом теплоотдача к воздуху конвекцией учитывается только от стенки со стороны греющего теплоносителя. Но поскольку противоположная стенка тоже участвует в теплообмене, то это обстоятельство необходимо учитывать. На рис.1 представлена расчетная схема теплообмена в системе греющего и подогреваемого теплоносителя.

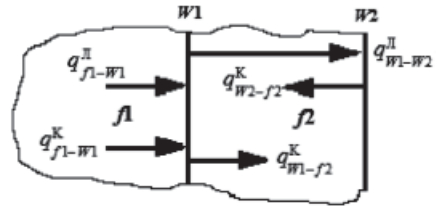


Рис. 1. Расчетная схема лучисто-конвективного теплообмена

Тепловая энергия от потока продуктов горения $f1$ передается к стенке $W1$ конвекцией q_{f1-W1}^K и излучением q_{f1-W1}^L .

От стенки $W1$ тепловая энергия передается к лучепрозрачному потоку $f2$ конвекцией q_{W1-f2}^K и к стенке $W2$ излучением q_{W1-W2}^L .

От стенки $W2$ тепловая энергия передается к нагреваемому воздуху конвекцией q_{W2-f2}^K .

Можно условиться, что поверхность стенки $W2$ является адиабатой, и тогда лучистая энергия, поступающая на неё полностью переходит в конвективный тепловой поток

$$q_{W1-W2}^L = q_{W2-f2}^K.$$

Приведенное равенство в раскрытом виде является нелинейным относительно температуры стенки T_{W2} . Поэтому оно приводиться к упрощенному виду, посредством введения вспомогательных величин, которые табулированы и универсальны, поскольку могут быть использованы в расчетах лучисто-конвективного теплообмена, применительно к приведенной схеме (рис.1) или ей подобной.

Литература

1. Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. М., «Металлургия», 1975, 296 с.

*А.А. Сергиенкова, соиск.;
рук. Е.В. Гусев, к.т.н., доц. (ИГУЭ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ДИСПЕСНОГО ГЛИНОЗОЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПНЕВМАТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В производстве глинозольной керамики эффективность и качество подготовки формовочной шихты оказывает существенное влияние на последующие технологические стадии и их аппаратурно-технологическое оформление. В связи этим были проведены исследования по обезвоживанию предварительно подготовленной 50% водной глинозольной суспензии (состав твердой фазы по массе: глина 60%, модифицированная зола ТЭС 40%) пневматическим способом распыливания для получения однородной тонкодисперсной шихты формовочной влажности [1].

Исследования проводились в условиях холодного распыливания на стенде при помощи пневматической форсунки с внешним смешением фаз и центральном подводе газа с улавливанием диспергированных влажных частиц в иммерсионной среде и последующим определением их дисперсности по цифровым фотографиям при помощи программы ImageJ.

В ходе исследований установлено, что повышение давления газа в интервале 0,2÷0,5 МПа и отношения исходных массовых потоков суспензии и воздуха в пределах 0,28÷0,46 на высоте факела распыла 150 мм и скорости потока 10 м/с от форсунки дает следующие результаты: угол распыла изменяется с 30° до 23°, средний диаметр частиц шихты понижается от 135 мкм до 104 мкм, а их влажность с 50% до 20% за счет выделяющегося потока водной аэрозоли от внешних границ факела.

Процесс пневматического диспергирования суспензии был апробирован в сушильно-помольном аппарате вихревого типа с системой сепарации [2]. При этом установлена возможность получения однородной тонкодисперсной глинозольной шихты с возможностью регулирования ее влажности в интервале 5÷12% за счет регулирования скорости и температуры закрученного восходящего потока воздуха и помола падающих высушенных коагуляционных частиц.

Использование данного способа эффективной подготовки шихты дает возможность интенсификации процессов сушки и обжига, их объединения за счет снижения влажности шихты и повышения ее однородности.

Литература

1. **Пажи Д.Г., Галустов В.С.** Основы техники распыливания жидкостей. М.: Химия, 1984.
2. **Патент на полезную модель № 211310 U1** Российская Федерация, МПК F26B 17/10. Устройство для термической обработки влажных дисперсных материалов: №2022105554: заявл. 01.03.2022: опубл. 31.05.2022 / Е.В. Гусев, О.Б. Колибаба, А.И. Сокольский, Д.А. Долинин, А.А. Сергиенкова.

*А.А. Сергиенкова, соиск.; Ю.Д. Смирнова, студ.;
рук. Е.В. Гусев, к.т.н., доц. (ИГУЭ, Иваново)*

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССА СУШКИ ГЛИНОЗОЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Сушка в производстве керамических изделий является энергоемким и массоемким теплотехнологическим процессом и сопровождается нарушением связей влаги с его твердой фазой, изменением физических свойств высушиваемого материала и механизмов переноса. Теплоэнергетическая эффективность процесса сушки влажных материалов при соответствующем их качестве связана с интенсивностью внешнего и внутреннего теплообмена [1].

Интенсивность внутреннего массопереноса в капиллярно-пористых телах оценивается по закономерностям изменения и характеру проявления эффективного коэффициента массопроводности от влагосодержания высушиваемого материала при заданных режимах сушки [2].

По нашим исследованиям кинетических закономерностей процесса конвективной сушки глинозольных образцов различного состава и толщин (R_M) при заданных режимных параметрах были рассчитаны на их основе зависимости эффективных коэффициентов массопроводности (a_m) от влагосодержания (U) материала с применением основного закона переноса плотности потока массы (влаги) в виде [2]

$$q_m = \frac{W}{F_M \tau_c} = \frac{(G_H - G_K)}{F_M \tau_c} = -a_m \rho_0 \frac{\partial U}{\partial R_M} = \beta \frac{(P_{ПМ} - P_{ПВ})}{R_{ПТ}}$$

Установлено, что интенсивность процесса сушки глинозольного материала повышается с увеличением содержания модифицированной золы и уменьшением толщины пластинчатого тела. Полученные закономерности свидетельствуют, что при конвективной сушке глинозольных образцов удаляется капиллярно-связанная и осмотически связанная влага с лимитирующим диффузионным переносом ее в виде жидкости, что говорит о возможности интенсификации сушки за счет повышения ее режимных параметров. Полученные данные позволяют при неизменном объеме конвективной сушилки установить интенсивность обезвоживания глинозольного материала с содержанием золы в интервале 30÷50% и рационально организовать процесс сушки с минимальными энергозатратами при требуемом качестве высушиваемого продукта.

Литература

1. **Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Кулбеков М.** Золы ТЭС в производстве строительной керамики. Алма-Ата: Казахстан, 1986.
2. **Рудобашта С.П.** Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980.

Секция 34

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ

Innovation technology in thermal engineering

Председатель секции: д.т.н., проф. Соколов Владимир Петрович

Секретарь секции: к.т.н. Осипов Сергей Константинович

А.Е. Холяков, асп.; рук. Ю.В. Панин, к.т.н. (АО НПО Лавочкина)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОСКИХ ИСПАРИТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ КОНТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ (КНТТ) ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

КНТТ широко применяются в КА разработки НПОЛ и других предприятий отрасли. КНТТ отводят избытки тепла на радиаторы различных конструкций. Основой конструкции КНТТ является испаритель, где располагается капиллярно-пористая структура (КПС). В настоящее время конструкция КПС изготавливается в виде цилиндра из спеченного никелевого порошка, который запрессовывается в корпус испарителя. Тепло на испаритель в основном подводится тепловыми трубами, расположенными на тепловой панели или внутри неё, а к самой КПС через теплопроводное основание, которое обычно изготавливается из алюминия. В некоторых случаях теплопроводные основания бывают достаточно громоздкими из-за необходимости охвата большой площади съёма тепла, что чаще встречается на посадочных станциях, где коллекторные тепловые трубы использовать проблематично. В таких случаях масса испарителей сильно возрастает. Собирать тепло с больших площадей более эффективно можно используя плоские испарители, где вся контактная поверхность отводит тепло за счет фазовых переходов, а не только теплопроводности. Удельная отводящая способность (плотность теплового потока) испарителя составляет от 5 до 7 Вт/см², у плоского испарителя это значение может достигать 50 Вт/см².

Таким образом усовершенствование конструкции испарителя, позволит существенно увеличить плотность теплового потока при одновременном сокращении массы.

Литература

1. **Майданик Ю.Ф.** Контурные тепловые трубы — высокоэффективные теплопередающие устройства // Инновации. 2003 № 5 (62). С. 84–92.

*С.Е. Корж, асп.; Д.А. Воронова, студ.;
рук. М.В. Ковалевич, к.т.н., доц. (МАИ, Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Бурное развитие космических технологий, в первую очередь технологий связи, ставит задачи значительного увеличения количества изготавливаемых малых космических аппаратов (МКА) [1]. Это требует иных подходов к организации производства космических аппаратов: переход на поточные линии сборки, внедрение средств автоматизации и роботизации, поскольку цена допущенных ошибок может быть очень высока. Эффективным способом сокращения затрат на проектирование производства является создание имитационной модели (ИМ).

В настоящем исследовании авторами ведется работа по созданию ИМ производства МКА методом поточной сборки. В качестве объекта производства принят учебный МКА, состав и компоновка которого близка к существующим аналогам. Моделирование производства основано на реализации принципа непрерывности потока, подразумевающего ритмичный выпуск продукции с определенным тактом. Задачами моделирования является исследование производственного потока, определение узких мест, поиск и отработка путей их устранения.

В работе решаются как прямая, так и обратная задачи. При решении прямой задачи исходными данными является технологическое время на каждом рабочем месте, а в результате моделирования можно получить данные о максимально возможной программе выпуска, загрузке рабочих мест. При решении обратной задачи в результате моделирования получаем время на каждой рабочей станции, которое необходимо обеспечить для реализации требуемой программы выпуска.

Существенной проблемой имитационного моделирования является большая трудоемкость разработки моделей высокой степени сложности и детализации. С целью снижения трудоемкости ИМ авторами в работе проводится отработка методологии создания модульных ИМ. Сущность подхода заключается в выделении типовых фрагментов ИМ производства с последующей их организацией в своеобразную библиотеку модулей. Кроме того, создание детализированных ИМ является важным шагом на пути к созданию и внедрению цифровых двойников производства.

Литература

1. Проект «Сфера» переходит к практической реализации // Роскосмос: офиц. сайт — URL: <https://www.roscosmos.ru/33771/> (дата обращения 09.11.2023)

*Е.Р. Кудринская, студ.; П.К. Давыдов, асп.;
рук. М.В. Ковалевич, к.т.н., доц. (МАИ, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Индустрия спутниковой связи переживает огромный скачок. Спрос на услуги значительно возрос, начиная с 2019 года в связи с коммерциализацией спутниковой деятельности [1]. При переходе производства изделий от штучного к серийному, становится рациональным применение автоматизации сборочных процессов. В первую очередь, применение промышленных манипуляторов.

Принятию решения об автоматизации сборочных процессов должен предшествовать всесторонний технико-экономический анализ. Основой для анализа может служить имитационная модель производства. Авторами ведется разработка имитационной модели производственного участка сборки малых космических аппаратов. В качестве объекта сборки используется упрощенная конструкция типового изделия малых габаритов. В первую очередь анализируется возможность применения коллаборативных роботов (коботов), применение которых дает следующие преимущества в сравнении с классическими промышленными манипуляторами:

- в отличие от авиации и автомобилестроения размеры изделий гораздо компактней и не требуют тяжеловесных манипуляторов;
- быстрая переналадка, переобучение;
- безопасность эксплуатации и возможность совместной работы;
- меньшая стоимость.

В работе исследуется возможность применения коботов в различных сборочных операциях изделий: позиционирование элементов, выполнение соединений, прокладка жгутов, контроль геометрических параметров. При этом важной задачей является применение информационных методов базирования, позволяющих снизить требования к точности выполнения отдельных элементов конструкции. При внедрении автоматизации целесообразно определить какие именно технологии вносят наибольший вклад для той или иной серийности производства. Анализ проводится при помощи инструментов системного инжиниринга и функционально-стоимостного анализа. Это позволит определить стадии сборки, наиболее благоприятные для внедрения средств автоматизации.

Литература

1. Программу «Сфера» представили на «SATELLITE RUSSIA & CIS 2020» // Роскосмос: офиц. сайт — URL: <https://www.roscosmos.ru/28867/> (дата обращения 09.11.2023)

*М.А. Ильина, соиск.; рук. Л.С. Яновский, д.т.н., проф.
(ФГБУН «ФИЦ ПХФ и МХ», г. Черноголовка)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ ПОЛИОЛОВ

Развитие газотурбинных силовых установок связано с повышением их степени повышения давления и температуры рабочего тела на входе в турбину, увеличение механической и температурной нагрузки на модули, а также уменьшение объёма масляной системы и снижение расхода масла, что обуславливает проведение исследований в обеспечение создания высокотермостабильных масел [1, 2].

Важнейшей задачей является изучение кинетики изменения физико-химических и эксплуатационных свойств эфиров неопентилполиолов в зависимости от температуры и времени окисления [3].

Авторами построены математические зависимости физико-химических и эксплуатационных свойств вышеуказанных веществ от температуры и времени окисления с помощью известных подходов химической кинетики на основе экспериментальных исследований в диапазоне температур 175–240 °С.

Определено время работоспособности смазочных композиций на основе неопентилполиолов, при котором достигаются предельно допустимые значения параметров. Показан уровень работоспособности смазочных композиций при заданной температуре в модельных условиях окисления. Установлено, что критическими параметрами являются противозадирные свойства и стойкость к пенообразованию.

Литература

1. **Яновский Л.С., Ежов В.М., Молоканов А.А.**, Нормативные требования к отечественным и зарубежным маслам для авиационных газотурбинным двигателям // Вестник МАИ, № 4, Т. 19, 2012, С. 81–85.
2. **Яновский Л.С., Ежов В.М., Ильина М.А., Шаранина К.В.** Исследование термоокислительной стабильности синтетических масел для авиационных ГТД и редукторов вертолётов. Мир нефтепродуктов, № 2, 2021, С. 52–56.
3. **Тонконогов Б.П., Багдасаров Л.Н., Попова К.А.** Исследование влияния структуры сложнэфирных основ на термоокислительную стабильность масел // Известия вузов. Химия и химическая технология, т. 61, вып. 2, 2018, С. 73–79.

*В.М. Ежов, к.т.н., соиск.; М.А. Ильина, соиск.;
Л.С. Яновский, д.т.н., проф.
(ФГБУН «ФИЦ ПХФ и МХ», г. Черноголовка)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ, В ТОМ ЧИСЛЕ СОДЕРЖАЩИХ ОКСИГЕНАТЫ, НА УДАРНОЙ ТРУБЕ

подавляющее большинство данных по периоду индукции воспламенения (ПИВ) углеводородов получены в отраженной волне при высоких значениях давления и температуры [1]. Организовать измерения ПИВ для температур $T < 1100$ К и давлений, близких к атмосферному, сложнее.

Данные исследования проведены в падающих ударных волнах. Начало воспламенения топливовоздушной смеси определялось спектрометрическим методом по появлению излучения радикала OH. В качестве газа-толкателя использовался He.

Достоверность методики измерения ПИВ в падающих ударных волнах подтверждается сопоставлением полученных результатов в [2].

Получены новые данные по ПИВ углеводородного топлива с добавкой метанола и этанола. Исследовано влияние монометиланилина на ПИВ углеводородного топлива. Топливоздушные смеси готовились в стехиометрическом соотношении. Исследования проводились в диапазоне температур от 700 К до 2000 К и давлений от 0,9 атм до 1,4 атм.

Установлена высокая корреляция полученных значений ПИВ исследованных топливовоздушных смесей со значениями октановых чисел, полученных расчетным методом.

Результаты могут быть использованы при проектировании энергоустановок, а также при разработке требований к перспективным топливам и оценке их пожаровзрывобезопасности.

Исследования проведены в рамках госзадания № АААА-А19-119120690042-9.

Литература

1. **J. Huang, P.G. Hill, W.K. Bushe** Shock-tube study of methane ignition under engine-relevant conditions: experiment and modeling. *J. Combustion and flame*, 2004, No. 136, 25–42.
2. **Huang J., Hill P.G., Bushe W.K., Munshi S.R.** // *Combust. Flame*. 2004, V. 136, P. 25.

М.А. Ефременко, студ.;
рук. Г.Д. Волкова, д.т.н., проф. (МГТУ «СТАНКИН», Москва)

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ССЫЛОЧНОЙ СВЯЗНОСТИ ДОКУМЕНТОВ В СПРАВОЧНЫХ ФОНДАХ ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Традиционные нормативно-справочные фонды проектно-конструкторских организаций являются важным источником инженерно-технических знаний, так как в них хранится задокументированный опыт работы специалистов предприятия за многие годы работы.

Содержательный анализ научно-технических публикаций и конструкторско-технологической документации позволил выявить особенности отражения в них технических знаний и представления их в различных формах:

- любой документ представляет собой либо методику получения / формирования / выбора технического решения, либо методику оформления технического решения в виде документов различного вида [1];
- любая методика является сложной структурой принятия/ получения решений на основе множества предметных ограничений или зависимостей, представленных в различной форме: текстовой, табличной, графической, комбинированной, которые между собой увязаны ссылками [2].

Для повышения эффективности работы с технической документацией за счет обеспечения поддержки ссылочной связанности документов в рамках данной исследовательской работы были решены следующие задачи:

- выполнена классификация видов информации и данных, представленных в нормативной технической документации;
- разработаны функциональные модели процессов описания ссылочной связанности документов;
- разработан и апробирован макетный вариант информационно-программного средства для поддержки процессов описания и обработки ссылочной связанности между документами.

Литература

1. **Тюрбева Т.Б., Волкова Г.Д., Семячкова Е.Г., Винарская Г.А.** Модели извлечения проблемно-ориентированных знаний из научных публикаций и технической документации // XII мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019): материалы научных сессий; Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. С. 79–83.
2. **Пай Со, Волкова Г.Д., Тюрбева Т.Б.** Моделирование проблемно-ориентированных знаний, зафиксированных в научных публикациях и технической документации // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS (МК-661). Сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции. 30 ноября 2019 г. — Пенза: Международный центр научного сотрудничества «Наука и просвещение», 2019. С. 38–41. ISBN 978-5-00159-158-0

Г.А. Тарасов, асп.;
рук. Л.С. Яновский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В России перерабатывается 8–12% от общей массы муниципальных отходов. Решением проблемы переработки является рециклинг, но нулевых показателей по поступлению отходов на свалки можно достичь только за счет термического уничтожения отходов. В связи с малой плотностью населения в России, строительство крупных мусоросжигательных заводов (МСЗ) по аналогии с Европейской моделью обращения с отходами является малоэффективным из-за длинных логистических цепочек. В связи с этим, как альтернатива сжиганию рассматриваются пиролиз и газификация [1], которые более эффективны при малых пропускных способностях одной линии (до 1000 кг/ч), что подходит для локального их использования.

В работе проведен комплекс лабораторных исследований процесса термического разложения модельных компонентов, входящих в группы муниципальных отходов, а именно: компонентный анализ продуктов пиролиза; элементный анализ исходных образцов и продуктов пиролиза; технический анализ исходных образцов и продуктов пиролиза; кинетические исследования процесса термического разложения в твердой фазе; кинетические исследования процесса термического разложения в газообразной фазе.

Выведены для температурного диапазона от 400 до 900 °С функциональные зависимости ожидаемых массовых долей компонентов продуктов пиролиза и их элементных составов. Получены константы скоростей реакций термического разложения для твердой и газовой фазы. Показан антагонизм в газовой фазе при разложении целлюлозы и полипропилена.

Построены на базе полученных результатов численные модели для пиролизного реактора ретортного типа и реактора газификатора в фильтрационном слое, в противоточном режиме с добавлением инертного материала. Для улучшения точности моделирования реактора газификатора был применен подход с сопряжением CFD/DEM моделей, который более точно описывает движение твердой фазы в сравнении с применением только CFD модели. Повышение точности достигается за счет более качественного моделирования течения газов сквозь фильтрующий слой.

Литература

1. **Polianczyk, E.V., Dorofeenko, S.O.** Conversion of hydrocarbons to synthesis gas in a counterflow moving bed filtration combustion reactor // *Int. J. Hydr. Energy.* 44 (8), 2019.

Е.В. Кузнецов, студ.;
рук. И.В. Шевченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХТОПЛИВНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Одной из актуальных проблем гражданской авиации является загрязнение окружающей среды продуктами сгорания топлива. Наибольшее загрязнение происходит в зоне аэропортов во время посадки и взлёта самолётов, а также при запуске и опробовании их двигателей. Суммарный выброс загрязняющих веществ двигателями самолетов только в зоне аэродрома сопоставим с выбросами выхлопных газов из двигателей автотранспорта в районе крупных автомагистралей. На уровень загрязнения аэропортов влияет множество факторов: тип и количество самолетов, тип и количество установленных на них двигателей, особенности использования взлетно-посадочных полос и организация руления, физико-географические условия расположения зоны аэродрома (равнина, горный район, низина).

В работе проведен анализ методов снижения эмиссии вредных выбросов. Было показано, что одним из перспективных методов решения данной задачи является использование двухтопливной камеры сгорания, в которой на режимах руления, влета и посадки, используется водород, а на крейсерском режиме полета обычный авиационный керосин. Как известно по сравнению с другими видами топлива, водородное имеет самый низкий углеродный след. Однако, как показали исследования [1] при сжигании водорода в камере сгорания двигателя образуется существенно больше оксидов азота чем при горении керосина. Это обусловлено, более высокой температурой и скоростью горения водорода. Для снижения выбросов NO_x требуется организация процесса горения водорода при повышенных значениях коэффициента избытка воздуха, что обеспечит снижения температуры в зоне горения. В настоящее время создают камеры сгорания на водороде с использованием новых схем, типа LDI (lean direct injection, прямой впрыск обедненной топливовоздушной смеси) позволяющие обеспечить меньше выбросов чем при сжигании углеводородных топлив.

Основные задачи дальнейших работ связаны с исследованием и созданием двухтопливной малоэмиссионной камеры сгорания, системы ее регулирования. Также необходимо разработать систему хранения водорода на борту гражданских самолетов и заправки на территории аэропорта.

Литература

1. **Васильев А.Ю., Строкин В.Н., Шилова Т.В.** Об особенностях керосино-водородной камеры сгорания гибридного газотурбинного двигателя. Авиационные двигатели, 3 (16). С. 48–55, 2022.

Т.А. Шеленкова, асп.;
рук. Ю.В. Панин, к.т.н. (АО НПО «Лавочкина», Химки)

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ С ФАЗОПЕРЕХОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Обеспечение теплового режима оборудования и агрегатов космического аппарата (КА) является одним из значимых условий стабильного функционирования КА.

В настоящее время для поддержания необходимого теплового режима КА применяют высокоэффективные тепловые агрегаты, работа которых основана на фазовых переходах рабочего тела, а именно тепловые трубы: контурные, аксиальные и артериальные, а также тепловые аккумуляторы.

Для повышения технологичности, применения эффективных форм тепловых агрегатов, а также их внутренних структур, уменьшения количества деталей в сборочных единицах предлагается использовать аддитивные технологии — селективное лазерное плавление (СЛП).

Основными составляющими контурной тепловой трубы (КнТТ) являются испаритель, конденсатор и транспортные каналы. Испаритель — наиболее ответственный и конструктивно сложный элемент. В состав испарителя в том числе входит вторичная капиллярная структура (ВКС), которая за счет капиллярных сил передаёт теплоноситель зону испарения, обеспечивая надежную работу трубы при различной ориентации в гравитации, а также в невесомости. Сегодня ВКС изготавливается вручную из сетки — проволоочной ткани.

На 3Д принтере были напечатаны образцы ВКС с применением технологии СЛП. Модели образцов имели различную форму и размер ячейки. По результатам испытаний были определены пористость и капиллярный напор образцов, сделаны выводы о перспективности формы ячейки и необходимости уменьшения ее размера [1]. Следующий шаг — изготовление образцов из другого сплава и полноразмерных моделей.

Ожидается, что внедрение аддитивных технологий приведет к возможности проектирования и изготовления сборочных единиц единой деталью за один процесс, что расширит вариативность конструктивного исполнения, ограниченного сегодня традиционными технологиями изготовления.

Литература

1. **Сеньшина Т.А., Холяков А.Е., Панин Ю.В., Борщев Ю.П.** Обзор применения аддитивных технологий в тепловых агрегатах с фазопереходными процессами и пути совершенствования их конструкции на основе этих технологий // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2023. № 3, С. 81–87.

Е.М. Козлов, студ.; рук. С.В. Захаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

В настоящее время освоение космоса стало неотъемлемой частью жизни, так как оно оказало значительное влияние на многие сферы — здравоохранение, сельское хозяйство, промышленность и экономику. Однако космос представляет собой среду, характеризующуюся отсутствием атмосферы, экстремальными температурами и радиацией.

Согласно информации, изложенной специалистами НАСА, температуры на МКС могут изменяться от -156 до $+121$ °C [1], поэтому для проведения исследовательских задач, требующих участие экипажа, необходима реализация автономных систем жизнеобеспечения (АСЖО), которые обеспечат для него комфортные условия. СЖО могут быть как индивидуальными (скафандры), так и для группы людей. АСЖО включает в себя: оборудование, регулирующее состав и качество микроатмосферы внутри корабля, система кислородообеспечения, обеспечивающие микроклимат системы, система водоснабжения, а также санитарно-гигиенические системы.

При конструировании СЖО на космических судах один из ключевых аспектов — это обеспечение высокого уровня надежности данной системы, определяющийся возможностью потери экипажа. В большинстве случаев, возможность потери экипажа в течение всего полета оценивается как 0,01. Для такой задачи требуется рассмотреть несколько вариантов регенерационных СЖО: комбинированная СЖО, частично-замкнутая СЖО и максимально-замкнутая СЖО [1], а также способы повышения степени их надежности. Стоит отметить, что применяемые системы используются в российской части МКС.

Литература

1. <https://www.nasa.gov/international-space-station/>
2. **Кудрявцева, Н.С.** Сравнительная оценка надежности и расчет затрат при проектировании систем жизнеобеспечения для долговременных межпланетных полетов / Н.С. Кудрявцева, А.Е. Сорокин // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* — 2020. — Т. 54, № 2. — С. 30–37.

А.Н. Буканёв, студ.; рук. С.К. Осипов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЛЬНОЙ ТУРБИНЫ

Важное место в процессе проектирования микро-ГТУ занимает повышение эффективности проточной части радиальной турбины. Главной задачей является обеспечение безотрывного течения рабочей среды в радиальном колесе. Наличие отрывов и вихревых структур в проточной части турбомашины приводит к уменьшению ее экономичности, из-за появления дополнительных потерь энергии [1]. В настоящее время актуальна разработка эффективных и простых в конструкции методов борьбы с вихревыми течениями в радиальных турбинах.

В настоящей работе путем численного моделирования была выявлена структура и месторасположение одного из источника потерь энергии — вихревого шнура, образуемого за счет прикорневого потока, направляющегося вдоль лопатки к периферии канала (рисунок 1). Было проведено исследование методов управления потоком, направленных на снижение потерь в проточной части радиальной турбины. Среди методов рассматривалось использование перегородок, разделяющих проточную часть на несколько ярусов и использование ребер, расположенных на корневой части колеса.

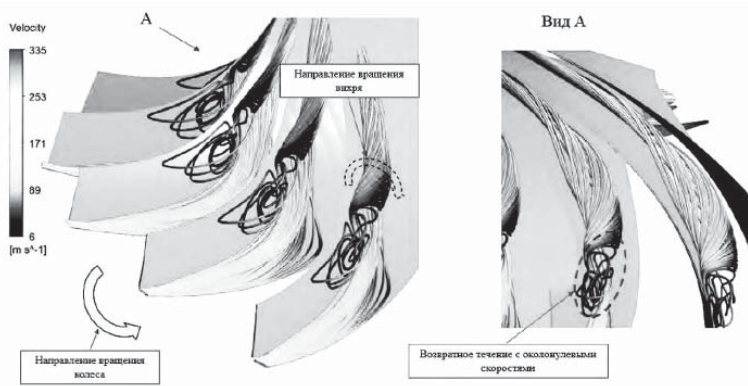


Рис. 1. Структура вихревого движения в канале

Литература

1. Moreau A.M.S. Analysis of the flow structure in a radial turbine. — 2015.

П.А. Брызгунов, асп.;
И.В. Мухин, К.А. Гусев, С.М. Юдин, студенты;
рук. И.И. Комаров, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЩЕЛЕВЫХ КАНАЛАХ С КАПЛЕВИДНЫМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ТЕПЛООБМЕНА

В настоящее время актуальными являются вопросы разработки рекуперативных теплообменных аппаратов «газ–газ» для использования энергетических установках нового типа. Для повышения эффективности теплообменников необходима разработка теплообменных поверхностей, обеспечивающих интенсификацию конвективного теплообмена в щелевых каналах, для чего используются штырьковые интенсификаторы, на теплогидравлическую эффективность которых влияет форма, взаимное расположение штырьков, а также шероховатость поверхности [1].

Целью настоящей работы является выявление конфигураций поверхностей теплообмена с шахматными рядами каплевидных штырьковых интенсификаторов теплообмена, обеспечивающих наилучший теплосъем при минимальном гидравлическом сопротивлении.

По результатам проведенных численных расчетов были получены зависимости для осредненного числа Нуссельта в зависимости от числа Рейнольдса, числа Прандтля и геометрических параметров, при этом увеличение числа Нуссельта достигается при уменьшении относительной длины штырька и уменьшении расстояния между рядами штырьков:

$$Nu = 0,051 \cdot Re^{0,793} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^{-0,066} \cdot \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{-0,489}, \quad (1)$$

где Re — число Рейнольдса, посчитанное по диаметру штырька и скорости в наиболее узком сечении межштырькового канала; l — длина штырька, м; d — диаметр штырька, м; S_2, S_1 — соответственно шаг между рядами штырьков и шаг между штырьками в одном ряду, м.

Полученные соотношения могут быть использованы при проектировании и расчете микроканальных рекуператоров на воздухе и диоксиде углерода.

Работа выполнена в рамках стратегического проекта «Энергетика больших мощностей нового поколения» программы «Приоритет 2030».

Литература

1. Леонтьев А.И., Олимпиев В.В. Теплофизика и теплотехника перспективных интенсификаторов теплообмена (обзор) // Известия Российской академии наук. Энергетика. — 2011. — № 1. — С. 7–31.

Т.П. Карев, асп.; рук. С.К. Осипов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ОТКЛОНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ

Внедрение технологий улавливания диоксида углерода на ТЭС приводит к росту цен на производимую электроэнергию. Альтернативным вариантом сокращения вредных выбросов может стать использование кислородно-топливных энергетических комплексов (КТЭК) при сверхкритических параметрах рабочего тела — около 300 атм. [1]. Изменения рабочей среды и термодинамических параметров рабочей среды по сравнению с традиционными условиями эксплуатации газовых турбин определяют изменение характера процесса сгорания, что требует проведения исследований процессов сжигания топлива и разработки новых конструктивных решений.

Отечественными исследователями получены результаты разработки натурной КС КТЭК цикла Аллама путём проведения численного моделирования. Верификация результатов требует создания экспериментального стенда для испытания горелочных устройств углекислотных КС [2].

В настоящей работе получены зависимости отклонений критериев газодинамического и теплофизического подобия от скорости и давления продуктов сгорания кислородно-топливной смеси с углекислым газом в рабочем участке стенда для испытаний горелочных устройств. Получены параметры рабочей среды и мощности модельных и натуральных горелочных устройств, при которых значения отклонений критериев обеспечиваются в диапазоне от 2 до 15%.

Полученные зависимости могут использоваться при проектировании экспериментальных горелочных устройств и камер сгорания кислородно-топливного сжигания на сверхкритических параметрах.

Литература

1. **Allam R. et al.** Demonstration of the Allam Cycle: an update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture // *Energy Procedia* 2017; 114: 5948–5966.
2. **Комаров И.И. и др.** Разработка и исследование кислородно-топливной камеры сгорания высокого давления // *Вестник МАИ*, 2022, Т. 29, № 4, с. 196–207.

*И.В. Убушиев, студ.; Г.А. Герцовский, асп.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОЛУЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ CAPSTONE C30 С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕССА 3D СКАНИРОВАНИЯ

На сегодняшний день в РФ работает порядка 400 установок микро-ГТУ фирмы Capstone, которые обеспечивают предприятия электроэнергией. В связи с уходом компании с российского рынка малой энергетики актуальной задачей является локализация производства ремонтных комплектов ответственных деталей прочной части на территории РФ. Наладить производство ремонтных комплектов возможно только при наличии конструкторской документации, которую возможно получить с применением обратного проектирования. Одной из задач обратного проектирования является разработка трехмерных моделей узлов оборудования, в том числе с применением процесса 3D сканирования. При использовании данного метода возможно получать внешнюю геометрию объектов с высокой заданной точностью, при этом уменьшая время на проектирование и разработку конструкторской документации имеющихся деталей [1, 2].

В процессе обратного проектирования энергетического оборудования камеры сгорания микро-ГТУ было проведено 3D сканирование камеры сгорания с помощью сканера Shinning 3D FreeScan UE Pro и получено облако точек ее поверхности. По облаку точек в программе обработки Geomagic была получена твердотельная модель камеры сгорания.

На основе проведенной работы был разработан алгоритм для получения твердотельной детали с использованием лазерного сканера и ПО обработки скана для получения твердотельной модели и ее конструкторской документации (рис. 1).

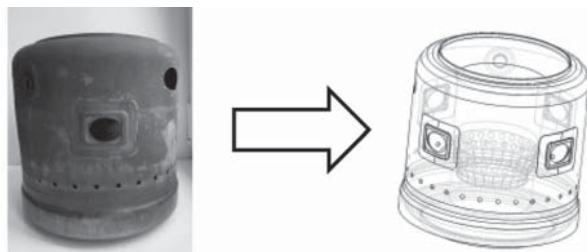


Рис. 1. Твердотельная модель камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C30

Литература

1. **Gameros A. et al.** A reverse engineering methodology for nickel alloy turbine blades with internal features // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. — 2015. — Т. 9. — С. 116–124.
2. **Bauer F. et al.** Accuracy analysis of a piece-to-piece reverse engineering workflow for a turbine foil based on multi-modal computed tomography and additive manufacturing // Precision Engineering. — 2019. — Т. 60. — С. 63–75.

Д.А. Мечник, студ.; П.А. Брызгунов, асп.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАЗМЕРА ЯЧЕЕК РАСЧЕТНЫХ СЕТОК, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СЕТОЧНУЮ СХОДИМОСТЬ

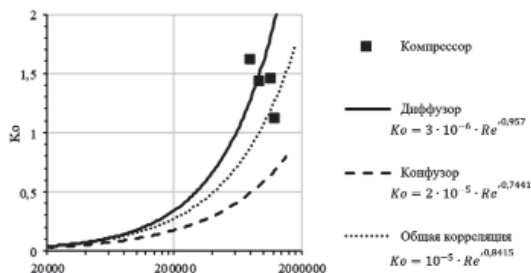


Рис. 1. Зависимость величины $Ko(Re)$

Среди параметров расчетных сеток для проведения моделирования течений выделяют размеры ячеек пристеночного слоя и размер ячейки основного потока. Для определения размера ячейки в пристеночном слое существуют рекомендации, которые зависят от параметра $Y+$ и выбранной модели турбулентности. Универсальных рекомендаций для выбора размера ячейки основного потока нет. Есть требование по подбору размера этой ячейки, которое заключается в обеспечении сеточной сходимости расчетной модели. Инженеры и исследователи итеративным путем меняют размер ячейки до тех пор, пока контрольный результат численного моделирования не перестанет меняться [1].

Таким образом, актуальна разработка инструмента, обеспечивающего априорную оценку размера величины ячейки основного потока, обеспечивающего сеточную сходимость расчетной модели. В работе было проведено исследование сеточной сходимости различных типовых каналов, при варьировании режимных и геометрических параметров, разработана общеуниверсальная критериальная зависимость, обеспечивающая определение размера ячейки сеточной сходимости [2]. Данная критериальная зависимость была апробирована путем сравнения полученной прогнозной величины ячейки, обеспечивающей сеточную сходимость с результатами исследования на сеточную сходимость центробежного компрессора микро-ГТУ (рисунок 1).

Литература

1. Le Sausse P. et al. CFD comparison with centrifugal compressor measurements on a wide operating range // EPJ Web of Conferences. — EDP Sciences, 2013. — Т. 45. — С. 01059.
2. Bryzgunov P. et al. Research and Development of Critical Correlations for the Optimal Grid Element Size Used for RANS Flow Simulation in Single and Compound Channels // Inventions. — 2022. — Т. 8. — №. 1. — С. 4.

*К.А. Соколов, студ. (НИУ «МЭИ»);
рук. А.В. Торпачев, к.т.н., доц. (НИУ «МАИ»)*

УСКОРЕНИЕ ВЫХОДА НА РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА

Одним из ключевых вопросов по рассматриваемой проблематике, имеющим высокую практическую значимость, является разработка датчиков контроля концентрации кислорода с минимальным временем выхода на режим измерения [1].

В настоящем докладе рассматриваются следующие варианты решения данного вопроса:

- термостатирование и форсированный разогрев электронагревательными элементами,
- термостатирование и форсированное охлаждение холодным воздухом, нагнетаемым при помощи вихревых труб,
- поддержание заданной температуры с применением вихревой трубы (на время снятия напряжения питания) и последующим включением термостатирования (с момента подачи напряжения);
- термостатирование электронагревательными элементами и форсированный разогрев горячим воздухом.

Основными критериями при сравнительном исследовании вышеперечисленных вариантов датчиков концентрации кислорода являлись следующие особенности их функционирования: периодические включения; полное снятие напряжения с объекта; требуемое время выхода показаний датчика на диапазон допустимых погрешностей измерения с момента включения; область заданных рабочих температур.

Результаты выполненных исследований перечисленных газоанализаторов с ускоренным выходом на режим измерения позволили сделать вывод о необходимости проведения последующих детальных экспериментов с первым и вторым вариантами датчиков из приведенного выше списка. Основные результаты решения этих вопросов приведены в публикациях авторского коллектива по исследуемой проблематике [1–2].

Литература

1. **Торпачев А.В.** Исследование методов контроля концентрации кислорода в воздушной среде помещений и сооружений, применяемых в космическом машиностроении // *Технология машиностроения*. — 2022. — № 9. — С. 35–39.
2. **Соколов К.А., Торпачев А.В.** Разработка датчиков контроля концентрации кислорода с сокращенным временем выхода на режим измерения для аэрокосмических комплексов // *Технология машиностроения*. — 2023. — № 2. — С. 36–41.

*М.С. Синьбухова, В.С. Булаева, студенты;
рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

В настоящее время изготовление пористой структуры для различных видов тепловых труб часто производится путем спекания, что влечет за собой образование закрытых пор внутри материала, не участвующих в теплообмене, непредсказуемый показатель эффективности аппарата и длительные экспериментальные исследования в процессе производства.

Цель работы — создание трехмерных моделей пористой структуры различной геометрии с целью получения высокой эффективности работы тепловой трубы.

Задача — изучить современные инструменты для разработки 3D прототипа, создать несколько вариантов геометрии единичного элемента.

Проектирование упорядоченной пористой структуры вместо изготовления ее методом спекания позволяет увеличить эффективность теплообменного аппарата, стандартизировать модель для масштабного производства. Кроме того, снижается стоимость разработки за счет сокращения количества экспериментальных исследований. В настоящий момент уже проводится разработка единичных элементов пористой структуры, что показано в работах [1–2].

В данной работе было смоделировано две трехмерных пористых структуры, обладающие различными характеристиками. Форма и площадь поверхности, омываемой жидкостью, влияют на показатели теплообмена.

Благодаря компьютерному моделированию появляется возможность весь объем пор в материале сделать рабочим, а его площадь рассчитать достоверно, что не позволяет хаотичная спекенная структура. Таким образом, достигается требуемый показатель эффективности работы тепловой трубы.

Литература

1. **Surendra Singh Rathorea, Balkrishna Mehtaa, Pradeep Kumarb, Mohammad Asferc** Flow Characterization in Triply-Periodic-Minimal-Surface (TPMS) based Porous Geometries.
2. **Л.П. Пилинович, М.В. Тумилович, А.Г. Кравцов, Д.М. Румянцев, К.В. Гриб** Исследование процесса получения капиллярно-пористых материалов из металлических порошков для тепловых труб.
3. **M. Mahdi Roozbhani, Rodrigo Borela, David Frost** Pore Size Distribution in Granular Material Microstructure.
4. **В.Ю. Кравец Е.Н. Письменный Я.В. Некрашевич Д.Э. Сологуб** Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения миниатюрных тепловых труб.

*К.А. Соколов, Д.А. Залевский, студенты;
рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В АЭРОСТАТИЧЕСКИЕ ОПОРЫ СТАНКОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Одним из важных вопросов по рассматриваемой проблематике является поддержание постоянной температуры воздуха, подаваемого в аэростатические опоры станков механической обработки.

Основными преимуществами аэростатических опор и направляющих являются отсутствие контакта в рабочем состоянии, отсутствие люфтов, возможность жесткой фиксации перемещаемого тела за счет вакуумного натяга.

Аэростатическая система станка питается воздухом, нагнетаемым компрессором. Далее воздух проходит через четыре ресивера, регулятор давления и попадает в систему. Ресиверы гасят колебания давления воздуха, которые возникают из-за включений и отключений компрессора. Механические примеси и влага задерживаются в фильтрах и сепараторе.

Температура является важнейшим фактором в высокоточном производстве, расширения элементов станка могут привести к ошибкам, которые не будут систематическими, а значит их нельзя скомпенсировать системой ЧПУ станков. Во избежание перепада температур, воздух должен подаваться в аэростатические опоры с температурой внутреннего воздуха в помещении, которая поддерживается равной 20 градусам Цельсия.

В ходе работы были составлены расчетные модели для всех элементов системы подачи воздуха к станку. В результате было получено, что наибольшее количество тепла от воздуха отводится от ресиверов (88% снижения температуры). Рассмотрим возможные способы увеличения теплоотдачи для дополнительного охлаждения воздуха. Из расчетов следует, что основную часть термического сопротивления составляют конвективные слагаемые, а значит изменение материала и длины трубопроводов к значительному изменению температуры не приведет [1]. Оптимальный вариант решения задачи — установка пассивного теплообменника перед регулятором давления. Это не приведет к увеличению потерь давления воздуха на пути от компрессора к потребителю, но позволит приблизить температуру воздуха, подаваемого в аэростатические опоры к температуре внутреннего воздуха в помещении.

Литература

1. **Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.** Тепломассообмен: учебное пособие для вузов. — 3-е изд. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 550 с.

*В.П. Лосицкий, генеральный директор
(Фонд имени Александра Александровича Сереброва, г. Москва)*

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ПОИСКА И МАРКИРОВКИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ

По итогам СВО на вошедших в состав России территорий, встанет вопрос о необходимости активного проведения мероприятий связанных с гуманитарным разминированием. Общая протяженность фронта, глубина минных полей, неразорвавшиеся боеприпасы все это будет представлять реальную опасность для населения [1]. При современных методах разминирования для проведения указанных работ потребуются десятки лет, а также бесчисленных человеческих жертв [2]. Экономический ущерб сложно оценить, из сельскохозяйственного оборота указанная территория будет изъята на неопределенный срок.

Анализ нештатных ситуаций гибели и травматизма саперов говорит о том, что основная причина — это усталость и «замыливание глаза». С целью облегчения и обеспечения безопасности работ проводимых при разминировании, предлагается рассмотреть вопрос о создании Робототехнического Комплекса Зондирования поверхности земли для поиска и маркировки взрывоопасных предметов (далее РКЗ).

Концептуально РКЗ состоит из легкой сборной алюминиевой или титановой рамы, квадратного размера с длиной каждой стороны 2 метра. В углах конструкции смонтированы велосипедные мотор колеса, диаметром R30 [3]. Большой диаметр колес обусловлен возможностью работы в высокой траве, с возможностью вращения каждого колеса оси на 180 градусов, управляемых сервоприводом. В центре квадрата расположен контейнер для легкоъемной кассеты в которую закладывается картридж с флажками маркерами указывающими на взрывоопасный предмет. Возможная установка маркера осуществляется на мягких грунтах (как вариант) за счет пневматики или пиропатрона малой мощности [4, 5].

Литература

1. **Валецкий О.В.** Минное оружие вопросы минирования и разминирования, 2009, с. 221.
2. Штаб инженерных войск Красной Армии, Руководство по средствам минирования и разминирования, 1943, с. 129.
3. **Пустовалов В.И.** Справочник велосипедиста, 1970, с. 105.
4. **Перова А.И., Харисов В.Н.** ГЛОНАС принципы построения и функционирования, 2010, с. 28.
5. **Шоланов К.С.,** Основы мехатроники и робототехники, 2015, с. 126.

*М.В. Опарин, М.М. Шейх, аспиранты;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С УГЛЕКИСЛОТНЫМ РАЗБАВИТЕЛЕМ

Газотурбинные установки сегодня широко применяются в энергетической и авиационной отрасли. При их эксплуатации в атмосферу выделяется большое количество токсичных веществ и парниковых газов. В этой связи повышение экологической безопасности газотурбинных двигателей является актуальной задачей.

Перспективным решением, обеспечивающим практически полное сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу, является переход к полузамкнутым газотурбинным циклам с кислородным сжиганием топлива и углекислотным рабочим телом [1].

В обеспечение создания перспективных кислородно-топливных газотурбинных установок были проведены теоретические исследования процессов горения метано-кислородной смеси в среде углекислотного разбавителя. На рис. 1 приведена разработанная по результатам теоретических расчетов конструкция кислородно-топливной камеры с углекислотным разбавителем. Через фронтное устройство, предназначенное для диффузионного сжигания метана с кислородом, подается около 10% общей массы углекислого газа. Для стабилизации факела в объеме камеры сгорания и сокращения протяженности зоны активного горения было предусмотрено следующее:

- наличие лопаточного завихрителя потока окислителя;
- наличие плохообтекаемого рабочего тела.



Рис. 1. Эскиз кислородно-топливной камеры сгорания с углекислотным разбавителем

Литература

1. Kindra, V.O., Komarov, I.I., Kharlamova, D.M. et al. Development and Investigation of the Advanced Oxy-Fuel Power Plants Equipment Preliminary Design. Therm. Eng. 70, 736–750, 2023.

*А.В. Мартынюк, ст. преп.;
рук. В.В. Курицына, к.т.н., доц. (МАИ, Москва)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

На современном этапе оценка эффективности предприятий авиационной промышленности проводится по нескольким критериям [1], один из них — это критерий общей эффективности технологического оборудования. Значительный эффект на общую эффективность оборудования оказывает концепция поддержания технического состояния оборудования на уровне, близком к идеальному, за счет регулярного технического обслуживания и соблюдения эксплуатационных ограничений. Динамическая оценка эффективности технологического оборудования — одна из ключевых задач цифрового управления производством в целом в целях обеспечения гарантированного ритма и объемов выпуска наукоемкой продукции.

В работе проведен анализ возможности повышения общей эффективности оборудования за счет повышения производительности механической обработки. Рассмотрена обработка детали из титанового сплава на обрабатывающем центре в различных условиях производства.

Проведенный анализ влияния повышения производительности механической обработки на общую эффективность технологического оборудования показал, что сокращение цикла производства способствует росту эффективности оборудования. В работе показано, что при повышении общей эффективности оборудования в первую очередь необходимо учитывать возможности и состояние оборудования, технологической оснастки, испытывающей повышенные нагрузки на шпиндельный узел и привода, вызванные технологическими вибрациями. Особое внимание следует уделять контролю состояния [2] оборудования, оснастки, периодическому техобслуживанию, а также стабильности фиксации заготовок в приспособлении.

Литература

1. **Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.** Машиностроение в условиях инновационной парадигмы развития производственных систем. — М.: Изд-во «Московский политехнический университет», 2019. — 340 с.
2. **Rogalev A.N., Sokolov V.P., Sokolova J.V., Milukov I.A., Bratukhin A.G.** Methodology of reasonable application of digital technology for creating competitive high-tech products // International Journal Of Mechanical Engineering And Technology, 2018, Vol. 9, No. 10, pp. 670–678.

В.А. Карпов, студ.;
рук. А.В. Мартынюк, ст. преп. (МАИ, Москва)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА МОМЕНТ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Обработка титана вызывает определенные трудности. Во-первых, его высокая удельная прочность приводит к повышению температуры в зоне резания. Во-вторых, он химически активен, что может вызывать адгезию, приваривание и налипание стружки на инструмент. При данном сочетании механических, термических и химических нагрузок наиболее типичным механизмом износа является выкрашивание режущей кромки инструмента.

Обработка титана вызывает определенные трудности. Во-первых, его высокая удельная прочность приводит к повышению температуры в зоне резания. Во-вторых, он химически активен, что может вызывать адгезию, приваривание и налипание стружки на инструмент. При данном сочетании механических, термических и химических нагрузок наиболее типичным механизмом износа является выкрашивание режущей кромки инструмента.

Для успешной обработки титана необходим оптимизированный инструмент. Однако для обеспечения устойчивого процесса резания одного этого недостаточно: метод обработки также должен быть оптимизирован в соответствии с областью применения.

Для успешной обработки титана необходим оптимизированный инструмент. Однако для обеспечения устойчивого процесса резания одного этого недостаточно: метод обработки также должен быть оптимизирован в соответствии с областью применения [1].

При выборе подходящей стратегии обработки учитывалось следующее соображение: вращающаяся фреза контактирует с обрабатываемой поверхностью по дуге, измеряемой углом зацепления. Уменьшение длины этой дуги вследствие уменьшения глубины резания сокращает тепловую нагрузку на режущую кромку фрезы, уменьшается промежуток времени резания и увеличивается время для ее охлаждения [2]. Меньшее тепловыделение снижает риск закалки титана во время обработки.

Немаловажным фактором, влияющим на износ режущей кромки при механической обработке, является равномерность нагрузки на режущий инструмент, что также учитывалось при выборе стратегии обработки.

Был проведен сравнительный анализ нескольких стратегий черновой обработки титанового сплава по критериям «производительность», «машинное время» и «равномерность нагрузки на режущий инструмент», позволивший выявить оптимальную стратегию выборки чернового массива деталей двигателя летательного аппарата.

Литература

1. **Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.** Машиностроение в условиях инновационной парадигмы развития производственных систем. — М.: Изд-во «Московский политехнический университет», 2019. — 340 с.
2. **Rogalev A.N., Sokolov V.P., Sokolova J.V., Milukov I.A., Bratukhin A.G.** Methodology of reasonable application of digital technology for creating competitive high-tech products // International Journal Of Mechanical Engineering And Technology, 2018, Vol. 9, No. 10, pp. 670–678.

*Д.В. Сморкалов, нач. бюро расч.; Е.С. Белоусов, инж. 2к.;
М.В. Смирнов, гл. констр.;
Ю.С. Елисеев, ген. дир. (АО ГМЗ «Агат»)*

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МКЭ РАСЧЁТОВ ПОРШНЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Оценка прочностных характеристик деталей является неотъемлемой частью решения ряда задач при разработке двигателей. Поршень является одной из сложных, высоконагруженных и ответственных деталей двигателя. В связи с чем, расчет поршня на прочность является актуальной современной задачей. В аналитических методиках отсутствует прочностной расчёт поршня, есть только проверочные расчёты элементов поршня без учёта переменных нагрузок, величина которых учитывается при установлении соответствующих допускаемых напряжений.

Расчет методом конечных элементов включает в себя всю геометрию поршня, а не только его элементы, заключается в определении статической и усталостной прочности поршня под действием тепловых, газовых и инерционных нагрузок. Для получения полной картины напряженно-деформированного состояния проводится предварительный тепловой расчёт поршня в составе цилиндра, с учётом всех газодинамических процессов в двигателе внутреннего сгорания. Расчетная модель поршня рассматривается в составе цилиндро-поршневого и кривошипно-шатунного механизмов [1].

На основе проведенной работы был разработан алгоритм для получения конструкции поршня с использованием современного ПО (рисунок 1).

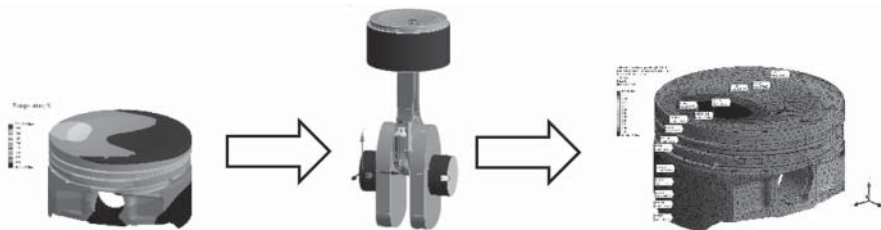


Рис. 1. Основные этапы МКЭ расчёта поршня

Литература

1. **Чайнов Н.Д.** Конструирование и расчет поршневых двигателей: учебник для вузов. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 536 с.: ил.

*Д.В. Сморкалов, нач. бюро расч.; Е.П. Воропаев, вед. инж. расч.;
М.В. Смирнов, гл. констр.;
Ю.С. Елисеев, ген. дир. (АО ГМЗ «Агат»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЁТА КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Уже продолжительное время в России отсутствует производство авиационных поршневых двигателей, из-за этого было утеряно много важной информации в части экспериментальных данных и коэффициентов, закладываемых в методики расчётов. Степень неизвестности и не изученности отражается в коэффициентах безопасности (запасах прочности) изделия или узлов, что приводит к повышенным масса-габаритным характеристикам изделия, высоким расходам топлива летательных аппаратов и завышенной стоимости изделия, что особенно важно в серийном изготовлении гражданских двигателей.

Создание таких сложных и наукоемких объектов, как современные поршневые двигатели, невозможно без использования современных компьютерных технологий и программных продуктов инженерного анализа и технологической подготовки производства. Достоверность использования МКЭ в качестве определения жёсткости доказано многими исследованиями [2]. Статический расчёт напряжений является отработанной современной методикой прочностного расчёта, при отсутствии явных концентраторов напряжений и проведении анализа точечной независимости, результат получается достоверным.

Появление в настоящее время опытно-конструкторских работ на АО ГМЗ «Агат» в области авиационного двигателестроения является возможностью создания новых расчётных методик, не оторванных от реальности, а проверенных на имеющихся двигателях. Новые методики содержат в себе расчёты на современном ПО, с применением МКЭ расчётов, верифицированные как по аналитическим методикам по трудам Кинасовили Р.С. 1945 года [1], так и по результатам ресурсных испытаний двигателей. Повышение точности расчётов обеспечивает уменьшение массы деталей, что в свою очередь приводит к улучшению параметров двигателей, таких как удельный расход топлива, массогабаритные характеристики и полного КПД двигательной установки.

Литература

1. **Кинасовили Р.С.** «Расчёт прочности коленчатых валов рядных авиационных двигателей»: Труды ЦИАМ №94. — НКАП ОБОРОНГИЗ 1945 г. — 20 с., ил.
2. **М.А. Минасян, Лэ Хи Ха, А.М. Минасян.** «Экспериментальное определение крутильной податливости коленчатого вала двигателя 2ЧВ, 5/11 ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2020, с. 64–65.

Е.С. Колесник, асп.;
рук. Д.Н. Курицын, к.т.н., доцент, МАИ, Москва

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

На предприятиях мелкосерийного производства имеется большой перечень мелкогабаритных деталей сложной конструкции. Технологические процессы их изготовления достаточно сложны, так как заготовка зачастую представляет собой пруток большого диаметра, механическая обработка которого обеспечивает достаточно низкий (менее 0,1) коэффициент использования материала (КИМ), использует оснастку сложной конфигурации, при этом задействовано значительное количество оборудования и персонала.

Возможные пути решения технологической задачи повышения эффективности формообразования таких деталей — литье, горячая штамповка, лазерная наплавка.

Проведенная технологическая экспертиза производственной целесообразности альтернативных методов формообразования, проведенная по технологическим, эксплуатационным и экономическим критериям, показала значимый приоритет технологии лазерной наплавкой в обозначенных условиях и ограничениях.

Перевод мелкогабаритных деталей сложной конфигурации на лазерную наплавку позволит предприятию: упростить технологический процесс изготовления детали; снизить количество и разнообразие оснащения и инструмента; уменьшить количество оборудования и обеспечивающего персонала; значительно повысить КИМ детали; как следствие, снизить производственные затраты на изготовление.

В то же время использование лазерной наплавки не лишено некоторых недостатков: усложняется контроль детали [1]; повышается риск получения неисправимого брака [2].

Тем не менее, данные недостатки могут быть устранены при технологической обработке режимов и условий операции.

Литература

1. **ГОСТ Р 59734 2021.** Оптика и фотоника. ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ. Технологический процесс. Введ. 2022-03-01. М., 2021. 20 с.
2. **Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И.** Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 664 с.: ил.

*Н.А. Рябов, студ., В.А. Земляная, ст. преп.;
рук. В.В. Курицына, к.т.н., доц. (МАИ, Москва)*

ПРИНЯТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

В современных условиях цифровой трансформации производства особая роль отводится автоматизации принятия конструкторско-технологических решений на этапах технологической подготовки производства изделий наукоемкой техники [1, 2]. Механообрабатывающее производство авиакосмического машиностроения ставит высокие требования по точности размеров и формы, качеству поверхностей обрабатываемых деталей, что осложняется сложной пространственной формой и труднообрабатываемыми материалами. В таких условиях актуальным становится поиск высокопроизводительных и адаптивных методов проектирования технологического оснащения и инструмента.

Выбор или проектирование нового технологического оснащения представляет собой вариативную задачу с некоторым количеством альтернатив не только конструкции приспособлений и инструментов, но и технологического маршрута, определяющего очередность их применения. Вариативные задачи подбора решений из условий определения исходных данных (характеристики заготовки) и конечного состояния (характеристики готовой детали) могут быть решены посредством интеллектуальных алгоритмов подбора пути достижения требуемого результата.

Реализация алгоритмов в области технологического проектирования предусматривает: а) наличие электронных каталогов параметрических элементов приспособлений; б) аппарат описания требуемой точности и достоверности решения; в) определение критериев и условий оптимизации в поле альтернатив конструкторских решений [3]. Набор правил (технологических знаний) предметной области теории механической обработки способен обеспечить снижение трудоемкости конструирования и проектирования станочных приспособлений и инструмента.

Литература

1. **Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.** Машиностроение в условиях инновационной парадигмы развития производственных систем. — М.: Изд-во «Московский политехнический университет», 2019. — 340 с. ISBN: 978-5-276-02499-8.
2. **Милюков И.А., Роголёв А.Н., Соколов В.П.** Подходы к интеграции конструирования и технологического проектирования // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 4. С. 59–70. DOI: 10.34759/vst-2020-4-59-70.
3. **Курицына В.В., Косов Д.Е., Курицын Д.Н.** Автоматизированная система обработки экспертных оценок при принятии технологических решений // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т.8. № 4. С. 44–55.

Секция 35

СОБСТВЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ: ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Own generation: technology and equipment

Председатель секции: д.т.н., доцент Рогалев Андрей Николаевич

Секретарь секции: к.т.н. Киндра Владимир Олегович

Н.С. Бабанов, студ.;
рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ПЭН

Питательная установка паротурбинного энергоблока 65МВт Приморской ТЭС состоит из: насосного агрегата АПЭ 400-185-1, гидромурфты, электродвигателя и вспомогательного оборудования. Система маслоснабжения ПЭН обеспечивает смазку подшипников и требуемое давление масла для работы гидромурфты.

Разработка математической модели системы смазки ПЭН позволяет интегрировать ее в общую математическую модель цифрового двойника ТЭС для решения всевозможных задач, связанных с определением технико-экономических показателей, получения режимных данных работы, оптимизации режимов работы.

Модель реализована с помощью ПО Microsoft Visual Studio на языке программирования C++.

В докладе представлены подходы к моделированию системы, математические зависимости и физические законы, позволяющие произвести непрерывный математический расчет системы; описана реализация моделирования узлов и оборудования системы, методика моделирования теплообмена в маслоохладителе, произведен расчет температурных полей подшипников, представлена математическая модель гидромурфты.

Проведенная валидация и верификация математической модели на основе данных эксплуатации Приморской ТЭС показывает ее достаточную адекватность и точность, по сравнению с реальным оборудованием. Погрешность математической модели по основным физическим параметрам (давления масла, температуры в характерных точках) составляет менее 5% на стационарных режимах и до 25% на нестационарных.

Математическая модель маслосистемы ПЭН была интегрирована в общую математическую модель энергоблока 65 МВт Приморской ТЭС и использована в составе тренажерного комплекса для подготовки персонала.

В.Р. Жихарева, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON С ВЕРИФИКАЦИЕЙ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно утвержденной Энергетической стратегии России, на период до 2030 г. планируется уменьшение роли централизованного теплоснабжения в энергосистеме с 43 (2005 г.) до 35 процентов [1]. В связи с этим распространен вввод в эксплуатацию высокоэффективных жаротрубных котлов малой мощности, которые применяются для производства теплоносителя в системах отопления, производственных предприятий, технологических объектов и жилых зданий. К преимуществам жаротрубных котлов относят: высокий КПД, достигающий 92–92%; возможность использования высокоэффективных горелок, а также сжигания различных видов топлива; быстрый вввод в эксплуатацию; надежность, долговечность и безопасность использования; компактность размеров.

На практике для конструирования жаротрубных котлов не достаточно имеющейся нормативно-расчетной базы, так как различные методики характеризуются наличием погрешностей, что требует введения поправок для определенного типа котла [2].

В работе разрабатывается программный код на языке программирования Python для автоматизированного теплового расчета жаротрубного котла на основе методики [3] с дополнительными уточнениями, при использовании дополнительных модулей расчета [4].

В результате получена автоматизированная усовершенствованная методика расчета жаротрубных котлов, которая была верифицирована на основе данных режимной карты котла [5].

Литература

1. **Распоряжение Правительства Российской Федерации №1715-р** «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» от 13 ноября 2009 г.
2. **Аборнев Д.В.** Тепловой расчет жаротрубно-дымогарного теплогенератора. СКФУ, 2015.
3. **Лумми А.П., Мунць В.А.** Расчет жаротрубно-дымогарного котла. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург, 2009. 31 с.
4. **Попов С.К.** Решение задач высокотемпературной теплотехнологии в среде Mathcad / С.К. Попов, В.А. Ипполитов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009 <https://popovsk.mpei.ru>
5. **Петин С.Н., Ванюшкин В.Д., Бурмакина А.В.** Производственное обучение на ТЭЦ с газопоршневыми генераторными установками и водогрейными котлами: Учебное пособие. Москва, 2022. 104 с.

*Д.В. Паторкин, студ.; И.А. Максимов, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АТОМНОЙ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ЗА СЧЁТ ПЕРЕХОДА НА ЦИКЛ С УГЛЕКИСЛОТНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Стабильное энергообеспечение удалённых регионов Дальнего Востока и Арктики является актуальной проблемой, одним из решений которой могут быть атомные станции малой мощности. На сегодняшний день наиболее распространённым способом преобразования тепловой мощности реакторной установки в электроэнергию является применение паротурбинных циклов, однако ввиду отсутствия возможности организации перегрева пара КПД энергоблока остаётся сравнительно невысоким. Одним из перспективных направлений является переход на циклы со сверхкритическим углекислотным теплоносителем [1], однако сегодня отсутствует комплексный термодинамический анализ циклов на нетрадиционных рабочих телах для отечественных малых модульных реакторов.

В настоящей работе установлено, что применение рекомпрессионного цикла Брайтона с углекислотным теплоносителем на атомной станции с реактором СВБР-100 обеспечивает КПД нетто на уровне 42.97%, однако в цикле имеются источники низкопотенциальной теплоты, утилизация которых позволит повысить энергоэффективность. В частности, перед холодным источником цикла возможно добавление дополнительного контура на низкокипящем теплоносителе для выработки электроэнергии. Было установлено, что надстройка органического цикла Ренкина с фреоном R236ea в качестве рабочего тела перед охладителем позволяет обеспечить КПД нетто атомной станции малой мощности равный 43.74%.

Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете МЭИ за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10235, <https://rscf.ru/project/23-79-10235/>

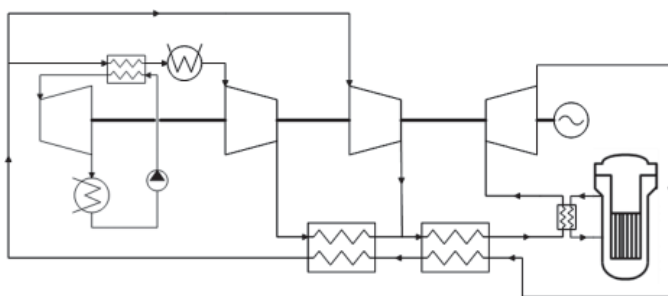


Рис. 1. Тепловая схема модифицированного CO₂ цикла для АСММ с реактором СВБР-100

Литература

1. Термодинамические циклы на сверхкритическом диоксиде углерода для ТЭС и АЭС / А.Н. Рогалев, В.О. Киндра, А.С. Зонов [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. — 2021. — № 1. — С. 6–19.

И.А. Максимов, асп.; Р.Е. Зуйкин, студ.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИНАРНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Повышение тепловой экономичности отечественных парогазовых энергоблоков является одной из актуальных задач теплоэнергетики. Одним из перспективных направлений является переход на тринарные циклы, в которых для подогрева конденсата паротурбинной установки вместо ГПК используется система регенерации, а дополнительный контур на низкокипящем теплоносителе полезно утилизирует остаточную теплоту уходящих газов [1].

По результатам термодинамического анализа тепловой схемы парогазового энергоблока на базе газовой турбины ГТЭ-160 была определена зависимость мощности паротурбинного контура и контура на низкокипящем теплоносителе от температуры питательной воды, подогреваемой в системе регенерации (рис. 1). Установлено, что существует оптимальное соотношение распределения теплоты уходящих газов между паротурбинной и фреоновой частью тринарной энергоустановки: при температуре питательной воды равной 140°C достигается максимум суммы мощностей ПТУ и ОЦР. Это позволяет обеспечить повышенный уровень тепловой экономичности тринарной установки: её КПД нетто выше, чем у одноконтурной ПГУ на более чем 2.2% и на 0.7%, чем у двухконтурной.

Работа выполнена в рамках проекта “Разработка перспективных энергетических комплексов для производства электроэнергии и водорода с минимальными выбросами вредных веществ в атмосферу” при поддержке гранта НИУ “МЭИ” на реализацию программ научных исследований “Энергетика”, “Электроника, радиотехника и IT” и “Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехники” в 2022–2024 гг.

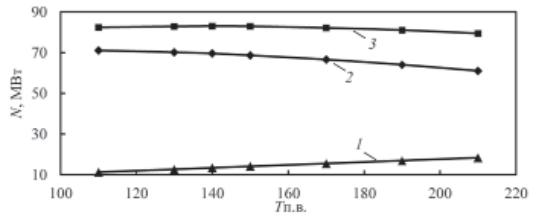


Рис. 1. Зависимость мощности нетто контуров ПГУ от температуры питательной воды
1 — ОЦР; 2 — ПТУ; 3 — ОЦР + ПТУ

Литература

1. Тринарные энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива / В.О. Киндра, В.Ю. Наумов, Н.С. Скляр [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.

*М.А. Островский, студ.; И.А. Максимов, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ПГУ, РАБОТАЮЩЕЙ НА МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

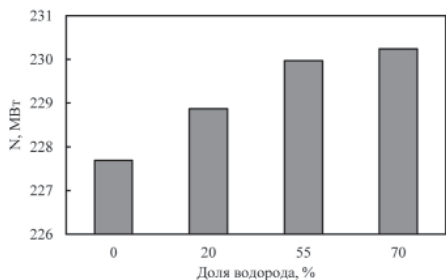


Рис. 1. Зависимость мощности тринарной установки от доли водорода в топливе

Использование водорода в качестве топлива на тепловых электростанциях является перспективным направлением развития энергетики, как ввиду отсутствия в продуктах его сгорания углекислого газа, так и возможного повышения энергоэффективности производства электроэнергии. В частности, подмес водорода в топливо для парогазовых установок будет способствовать изменению содержания влаги в уходящих газах, что делает перспективным

возможность более глубокой утилизации их теплоты в дополнительном низкотемпературном контуре на низкокипящем теплоносителе [1].

В настоящей работе получена оценка влияния изменения содержания водорода в топливе, используемом на ПГУ, на уровень отпускаемой мощности (рис. 1). Установлено, что увеличение доли водорода в смеси приводит к росту отпускаемой мощности на тринарном энергоблоке: при увеличении мольного содержания водорода в топливе до 20% прирост мощности составляет 1.17 МВт, до 55% — 2.27 МВт, до 70% — 2.55 МВт.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0014 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.) в сфере научной деятельности на 2023–2025 гг.

Литература

1. Тринарные энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива / В.О. Киндра, В.Ю. Наумов, Н.С. Скляр [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.

*М.В. Опарин, Д.С. Ковалев, аспиранты;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВОДОРОДА

Использование водорода является одним из ключевых трендов развития энергетики. Для реализации концепции водородной экономики необходимо решить проблему организации эффективного и экологически чистого производства H_2 в больших масштабах.

Последние разработки, направленные на создание энергетических комплексов для производства электроэнергии и водорода, характеризуются минимальными выбросами вредных веществ [1]. В настоящей работе рассмотрен комбинированный кислородно-топливный энергетический комплекс с установкой паровой конверсии метана (рис.1).

По результатам математического моделирования тепловой схемы установлено, что организация совместного производства электроэнергии и водорода позволяет достичь величины коэффициента использования теплоты топлива, равной 62,5%. Столь высокая эффективность достигается за счет полезной утилизации теплоты горячего синтез-газа в поверхностном теплообменнике, служащим для предварительного подогрева рабочей среды перед камерой сгорания.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSWF-2023-0014, соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.)

Литература

1. **Зонов А.С., Ковалев Д.С., Киндра В.О.** Экологически безопасная технология совместного производства водорода и электроэнергии на органическом топливе // Технологии будущего. Москва: ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021. С. 6-6.

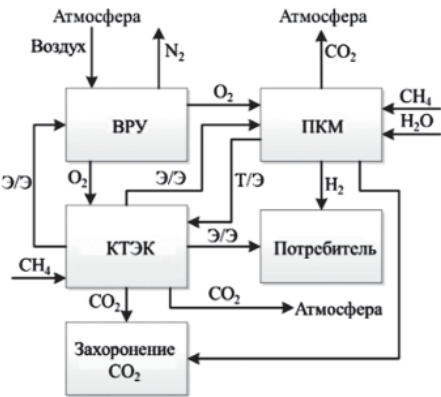


Рис. 1. Тепловая схема комбинированного цикла Аллама и установки паровой конверсии метана

*А.В. Светушков, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ им. Ленина, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗДЕАЭРАТОРНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ПАРОТУРБИННОГО ЭНЕРГБЛОКА 300 МВт

Отдельное место в паротурбинной установке занимает система регенеративного подогрева питательной воды. Традиционное в ней место занимает деаэратор, который выполняет функцию как ступени подогрева, так и аппарат для дегазации конденсата после присосов воздуха в тракте низкого давления. Однако применение деаэрационной установки требует применение дополнительных линий отбора пара с запорно-регулирующей арматурой, бустерных насосов для подпора питательных насосов, так же при аварийной ситуации связанной с забросом уровня в деаэраторе может привести к попаданию воды в уплотнения и проточную часть турбомашин.

В материалах доклада представлен вариант перевода системы регенеративного теплообмена на бездеаэрационную схему. Для этого предложены решения, связанные с перенаправлением сброса конденсата греющего пара с системы ПВД в смеситель после ПНД; отказом от бустерных насосов в пользу более высоконапорных конденсатных насосов второго подъёма; применением ПНД-2 смешанного типа увеличенного объёма для обеспечения утилизации стоков с технологических систем насосных групп, организации аварийного добавка хим. обессоленной воды, слива конденсата с ПВД (на пусковых режимах и режимах глубокой разгрузки блока) и пр. Для перехода на бездеаэрационную схему требует перехода на нейтральный кислородный водно-химический режим.

Оценка технико-экономических показателей новой схемы регенерации, паротурбинной установки и энергоблока в целом показывает, что исключение промежуточной ступени регенеративного подогрева воды в паротурбинной установке мощностью 300 МВт на природном газе ведет к повышению удельного расхода топлива с 303,3 г/кВт*ч до 305,0 г/кВт*ч за счет большей тепловой нагрузки на ПВД и как следствие недовыработки мощности.

Однако применение бездеаэрационной схемы упрощает технологическую схему и повышает её надежность как было отмечено выше.

А.А. Ухлин, асп.;

рук. В.И. Брезгин, д.т.н., проф. (УрФУ, г. Екатеринбург)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАМЕРЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ОТБОРА ПАРА ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ

В настоящее время в связи с активным внедрением ВИЭ и высокоэффективных тепловых электрических станций, работающих в цикле ПГУ в базовом режиме, всё более остро становится вопрос по регулированию электрической мощности сети. В практике отечественной энергетики всё чаще для решения этой проблемы в летний период используются теплофикационные турбины. Однако, теплофикационные турбины в силу конструктивных особенностей спроектированы на обеспечение наивысшей экономичности при работе на номинальных режимах с регулируемыми отборами пара [1].

Одной из основных отличительных особенностей паровых турбин с регулируемыми отборами пара является наличие камеры отбора с большим объёмом парового пространства. Эта особенность характеризуется значительными потерями выходной скорости потока из предотборной ступени, потерями связанными с образованием и поддержанием вихревого движения в паровом пространстве камеры, потерями на трение и теплообмен потока. Данные потери оказывают существенное влияние как на предотборные, так и послеотборные ступени на конденсационных режимах работы. Традиционно, для снижения данных потерь применяются различные конструкции дефлекторов на входе в послеотборную ступень.

В рамках работы по повышению эффективности паровых турбин производства АО «УТЗ» с помощью средств математического моделирования пакетов CREO Parametric и ANSYS была проведена оценка эффективности применения поворотного переходного диффузора в камере отбора. Применительно к одноцилиндровой турбине Т-60/65-8,8 УТЗ расчётно получен прирост внутреннего относительного КПД турбины 0,4% (260 кВт) на максимальном конденсационном режиме.

Результаты показали целесообразность дальнейшего рассмотрения данной темы и разработки конструкции переходного диффузора поворотного типа для возможного внедрения на производстве.

Литература

1. **Ukhlin A.A., Stepanov M.Yu., Shibaev T.L.**, “Unique Projects of Steam Turbines at AO Ural Turbine Works for Industrial Power Generation”, Thermal Engineering, 2020, Vol. 67, No. 12, pp. 909–915.

*А.Л. Демидов, асп.; рук. А.Ю. Рябчиков, д.т.н., проф.
(УрФУ, УралЭНИН, г. Екатеринбург)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

В последнее время наблюдается рост потребности в вертикальных сетевых подогревателях, что связано с развитием инфраструктуры и увеличением потребности в тепле. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых конструкций вертикальных сетевых подогревателей, которые будут способны удовлетворить эти потребности.

При разработке вертикального сетевого подогревателя необходимо учитывать требования заказчика, условия эксплуатации и экономические факторы. Важно создать надежную и эффективную конструкцию, которая будет соответствовать всем требованиям и обеспечивать максимальную тепловую производительность.

С участием автором был разработан и реализован ряд конструкций современных вертикальных сетевых подогревателей с площадью теплообмена от 315 до 1200 м².

В конструкциях новых вертикальных сетевых подогревателях реализован ряд технических решений:

- применение кожуха для перераспределения пара по высоте аппарата изменяющего аэродинамику его движения в корпусе;
- организован поперечный отвод неконденсирующихся газов;
- применение профильных витых труб (ПВТ) с эффектами интенсификации теплопроводности и самоочистки;
- отвод конденсата пара из каждой теплообменной секции;
- материал трубной поверхности выбирается в зависимости от водно-химического режима энергообъекта из коррозионностойких сплавов МНЖ5-1, 08Х18Н10Т;
- расстояние между перегородками определяется на основе расчета на собственные колебания трубного пучка;
- вальцовка трубок с помощью специального инструмента с созданием кольцевых канавок.

В работе представлены результаты испытаний новых вертикальных сетевых подогревателей в условиях эксплуатации и сопоставление их с серийными аппаратами.

Литература

1. **К.Э. Аронсон** Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов / С.Н Блинков, В.И. Брезгин и др. Изд. второе. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2008. 816 с.

*П.В. Голосова, А.И. Губанова, студенты; Т.П. Карев, асп.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

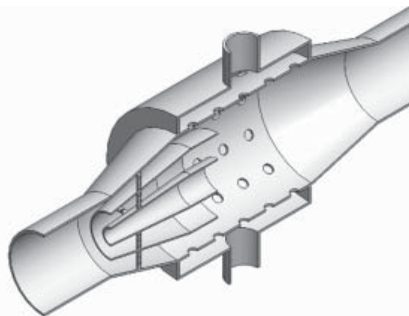
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОГО СМЕСИТЕЛЯ

При эксплуатации тепловых станций происходит выброс в атмосферу большого количества продуктов сгорания, которые содержат парниковые газы, провоцирующие парниковый эффект. Одним из способов уменьшения количества вредных выбросов является создание кислородно-топливных энергетических комплексов (КТЭК) на базе цикла Аллама [1]. Важным элементом КТЭК является углекислотная камера сгорания (КС), в которой метан сгорает

в среде окислителя (кислорода) и разбавителя (диоксида углерода). Одним из вариантов организации горения в данной камере является предварительное смешение CO_2 и O_2 . Для обеспечения хорошего качества смешения двух газовых компонентов необходимо использовать газовый смеситель.

В ходе исследования была разработана конструкция газового смесителя, которая представляет собой смесительную камеру, окруженную кольцевым коллектором, в который через два диаметрально расположенных патрубка подается подмешиваемый компонент (в случае углекислотной КС O_2). В начале смесительной камеры установлены дефлекторы — два соосно расположенных диффузорных канала. Поток CO_2 подается по основному трубопроводу. По результатам численного моделирования получено, что гидравлическое сопротивление у разработанного смесителя в 33 раза меньше, чем у аналога [2], при этом обеспечивается лучшее смешение.

Разработанный смеситель может быть использован не только для смешения CO_2 и O_2 , но и в других сферах промышленности, где требуется качественно смешать два газовых компонента с минимальными потерями энергии.



Литература

1. **Allam R., Martin S., Forest J.** Demonstration of the Allam Cycle: an update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture // Energy Procedia. 2017. V 144. P. 5948–5966.
2. **Пат. 633574** Союз Советский Социалистических Республик, МПК B01F 5/00. Смеситель газовый / Р.В. Бизяев. — № 2412963/23-26 ; заявл. 20.10.76 ; опубл. 25.11.78, Бюл. № 43.

*А.С. Мальцев, студ.; М.В. Опарин, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ ВОДОРОДА

Водород связан с новым энергетическим переходом, предлагающим завершение зависимости от углеводородов и использование экологически чистых источников энергии. В ближайшем будущем в мире ожидается рост производства и расширение области применения водорода, увеличение количества установок производства водорода. Одним из основных способов достижения озвученных целей является создание сопутствующих программ для применения водородных технологий в различных секторах экономики и масштабирования производства отечественного промышленного оборудования для получения водорода.

Авторами разработано программное обеспечение, предназначенное для расчета себестоимости поставки водорода потребителю. В качестве лингвистического обеспечения использовался язык программирования Python. Для определения оптимальной цепочки поставки водорода использовался A-алгоритм.

Последовательность перебора водородных технологий и возможные варианты цепочек поставки водорода изображены на рисунке 1. С помощью разработанной программы реализуются возможности проведения сценарного анализа, позволяющего определять оптимальную структуру цепочки поставки водорода потребителю в зависимости от таких внешних условий как цена топливо, электроэнергию, плата за выбросы диоксида углерода.

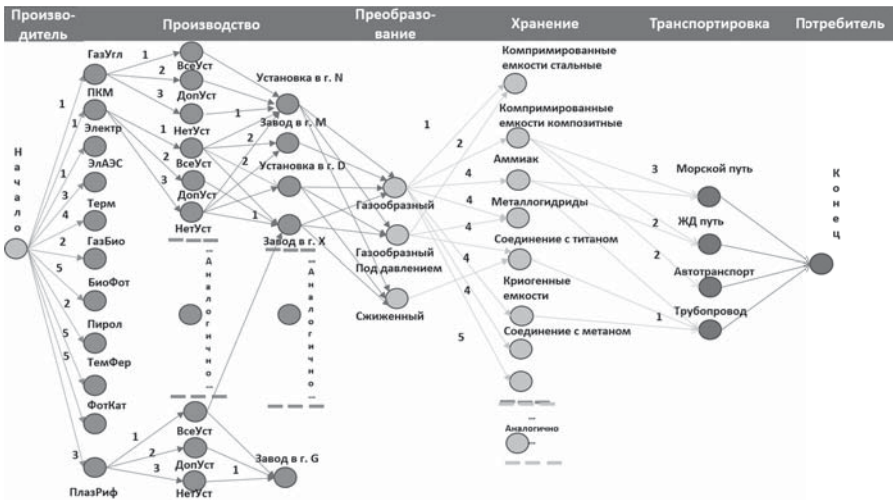


Рис. 1. Визуализация принципа работы программы

*Д.А. Четкин, Д.А. Мечник, студенты;
рук. С.К. Осипов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МИКРО-ГТУ CAPSTONE C30

В настоящее время на территории России и СНГ находится около 1000 микро-ГТУ мощностью менее 1 МВт. Примерно 86% установок от компании Capstone. В текущих условиях, когда фирма ушла с отечественного рынка, поставка запасных частей прекратилась. В этой связи снижение аварийности зарубежных микро-ГТУ является важной задачей. Один из методов снижения аварийности — применение технологии цифровых двойников (ЦД) [1].

В качестве объекта исследования для разработки прототипа ЦД была выбрана микро-ГТУ Capstone C30 (номинальной мощностью 30 кВт), установленная в лаборатории кафедры ИТНО ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Была составлена математическая модель микро-газотурбинной установки Capstone C30 в программном обеспечении SimInTech. Сравнение результатов моделирования с данными испытаний микро-ГТУ показало, что погрешность математической модели составляет не более 0,7%. Разработана структура цифрового двойника микро-ГТУ Capstone C30, на основе которой создан и испытан прототип цифрового двойника, обеспечивающий сравнение расчетной температуры уходящих газов со значением, полученным в результате испытаний, и вывод информации для операторов о сравнении данных значений.



Рис. 1. Результат работы прототипа цифрового двойника микро-ГТУ

Литература

1. **Наумов С.А. и др.** Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования // Теплоэнергетика. — 2018. — №. 4. — С. 21–33.

А.Н. Теньков, И.И. Феоктистов, асп.;
рук. А.Н. Рогалев, зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНТУРЕ УСТАНОВКИ С ЦКС

Утилизация мусора является одной из актуальных экологических проблем. В России наиболее распространено захоранивание твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах, однако это оказывает существенное негативное влияние на окружающую среду.

Применение ТКО для выработки тепловой и электрической энергии является перспективным направлением развития энергетического сектора. Однако, при сжигании отходов выделяется большое количество вредных выбросов. Разработка и внедрение новых технологий, обеспечивающих одновременно эффективное и экологичное сжигание ТКО с минимальными затратами обеспечит целесообразность их использования в энергетике [1].

В зарубежных странах широкое распространение получила технология сжигания в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) [2].

Отличительной особенностью топок с ЦКС является наличие возврата унесенного материала обратно в камеру сгорания. Возврат осуществляется через специальные пневмозатворы. В программе КОМПАС-3D были построены модели пневмозатворов типов L и J. В программном комплексе ANSYS Fluent было проведено исследование гидродинамики движения частиц с использованием двух моделей — TFM и DPM [3]. Для верификации моделирования модели затворов были воспроизведены с использованием 3D печати и испытаны на натурном стенде.

Как результат, исследование даст представление о влиянии конструкции пневмозатворов различного исполнения на эффективность работы и позволит определить их оптимальные параметры.

Литература

1. **А.Н. Тугов** Опыт использования твердых коммунальных отходов в энергетике (обзор) / 115280, Россия, Москва, Автозаводская ул., д. 14. ОАО ВТИ; Тугов А.Н.; ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2015, № 12, с. 13–22.
2. **Г.А. Рябов** Исследование граничных режимов движения твердых материалов в циркуляционных контурах энергоустановок / Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Санкин Д.А., Мельников Д.А.; ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2014, № 11, с. 36–45.
3. **Е.А. Шестаков** Обоснование выбора математической модели для описания гидродинамики аппаратов с взвешенным транспортируемым слоем средствами вычислительной гидродинамики / Е.А. Шестаков, С.Х. Загидуллин, М.В. Тонков; Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия; ВЕСТНИК ПНИПУ, Химическая технология и биотехнология № 4.

*А.А. Ухлин**, *асп.; рук. В.И. Брезгин***, *д.т.н., проф.*
(* АО «УТЗ», **УрФУ, г. Екатеринбург)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОЩНЫХ ПГУ

На протяжении последних 20 лет в отрасли традиционной энергетики можно отметить значительный спад в возможных вариантах повышения эффективности вновь строящихся электростанций на ископаемом топливе. Среди всех существующих вариантов наиболее развивающимся является строительство ПГУ на базе ГТУ Н-класса. На сегодняшний день перспективные ПГУ имеют КПД нетто свыше 64%, а единичная мощность газовой турбины в их составе стремится к 600 МВт, а паровой турбины — от 250 до 600 МВт в зависимости от компоновки энергоблока.

Для повышения эффективности ТЭС за счёт принципа когенерации рационально применение теплофикационных паровых турбин в составе ПГУ. Данные решения наиболее актуальны для регионов с холодным климатом, где требуется покрытие значительных теплофикационных нагрузок на протяжении полугода и более.

Известно, что в зимний период температура на конце газовой турбины снижается, КУ производит пар с пониженными параметрами, при этом паропроизводительность может возрастать. Вместе с тем, в барабанах котла поддерживается давление для обеспечения корректной работы ПТ, хотя его снижение привело бы к более эффективной утилизации теплоты и росту паропроизводительности каждого контура КУ [1]

Для решения данной проблемы предлагается применение тепловой схемы с изменяемым давлением контура НД КУ и организации переключаемого места подвода пара НД в проточную часть турбины.

На основании выполненных расчётов с применением специализированного ПО АО «УТЗ» для турбины типа Т-235/285-11,0 получено повышение КПД цикла и увеличение электрической мощности паровой турбины на 5% при работе на тепловом потреблении при переключении места подвода пара НД по сравнению с вариантом без переключения. Вместе с тем, данное решение позволяет не использовать дорогостоящее дожигающее устройство, что снижает затраты на строительство и обслуживание ТЭС.

Литература

1. **С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов**, Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. — 2-е изд., стер. — Москва : Изд дом МЭИ, 2006 (М. : Типография «Наука»). — 578, [1] с. : ил., табл.; 25 см.; ISBN 5-903072-19-4 (В пер.)

Секция 36

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Processes and apparatuses of industrial heat engineering

Председатель секции: к.т.н. Горелов Михаил Валентинович

Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич

Н.С. Начкебия, асп.; рук. А.Б. Бирюков, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МИКРОРЕГЕНЕРАТИВНЫХ НАСАДКАХ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ГОРЕЛОК

Регенеративные горелки характеризуются высокой тепловой эффективностью, из-за их развитой удельной поверхности нагрева в объеме насадки. Их КПД достигает 80–90%, что позволяет максимально утилизировать теплоту высокотемпературных отходящих газов. Экономия топлива при использовании регенеративной системы отопления составляет 30–60%. Принцип работы регенератора циклический. Поэтому в печах их устанавливают попарно, так как пара горелок работают попеременно.

В данной работе была разработана математическая модель для исследования теплотехнических свойств шариковых микрогенеративных насадок регенеративных горелок. Математическая модель разработана на основе явной конечно-разностной схемы. В модели были учтены тепловые потери через ограждающие стенки и термическая массивность тел, заполняющих пространство насадки и выполняющих роль теплоаккумулятора. Основываясь на анализе литературных данных и исследованиях других ученых, особенностью разработанной модели является учет термомассивности и исследование разогрева насадки из «холодного» состояния.

Работоспособность модели опробована на ПЭВМ в пакете РТС[®] MathCAD[®], а полученные результаты сверены с результатами, приведенными в литературе [1]. В дальнейшем планируется разработка инженерной методики, основанной на разработках А.Б. Бирюкова [2], для расчета регенеративных горелок, и апробация модели и методики на лабораторной установке кафедры Технической теплофизики ДонНТУ.

Литература

1. **Начкебия Н.С., Бирюков А.Б.** Анализ расчетных методов и математических моделей теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок/ ВЕСТНИК ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ Г: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. 2023. № 1 — С. 50–56.
2. **Бирюков А.Б.** Методика определения основных параметров теплообменной насадки регенеративных горелок // Сталь — 2018. — №. 11. — С. 72–75.

А.А. Добринская, студ.; О.Е. Прун, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО НАПОРА В ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ВЛАГОВЫПАДЕНИЕМ

В охладителях систем кондиционирования и в теплоутилизаторах вытяжного воздуха может происходить процесс влаговываждения. Когда наружный воздух имеет высокую температуру и большую влажность, как в тропическом и субтропическом климате, в процессе охлаждения он может быстро достичь состояния насыщения, и его дальнейшее охлаждение приведет не только к образованию конденсата на поверхности теплообмена, но и к образованию тумана, т.е. к объёмному влаговываждению. Температурный напор не будет меняться по экспоненциальному закону, его среднеинтегральная величина будет отличаться от средней логарифмической, что окажет существенное влияние ошибку инженерного расчета таких аппаратов.

Ранее в [1] была построена математическая модель воздухо-водяного теплообменника с влаговываждением и проведен численный эксперимент, который показал, что значение коэффициента влаговываждения в таком процессе можно считать по классической формуле, но для расчёта среднего логарифмического напора необходимо вводить специальную поправку, т.к. разница между среднеинтегральным и средним логарифмическим значениями температурного напора может превышать 10%. Поправка зависит от соотношения расходных теплоемкостей и параметров влажного воздуха. Работа посвящена построению номограммы для определения поправки к среднему температурному напору в таких аппаратах. Если в воздухоохладителе 4 ряда труб или более, средний температурный напор рассчитывается по формуле:

$$\Delta \bar{t} = \Delta t_{\log}^{\uparrow \downarrow} \varepsilon_{\varphi},$$

где $\Delta t_{\log}^{\uparrow \downarrow}$ — средний логарифмический температурный напор для противоточной схемы, ε_{φ} — поправка на образование тумана, определённая по номограмме (рис.1, P и R определяются по входным и выходным параметрам теплоносителей). Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. А.А. Добринская, О.Е. Прун, «Анализ процесса влаговываждения при охлаждении воздуха высокой влажности», Труды Одиннадцатой Всероссийской конференции с Международным участием «Энергосбережение: теория и практика». Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», Москва, 2022, с. 107–110.

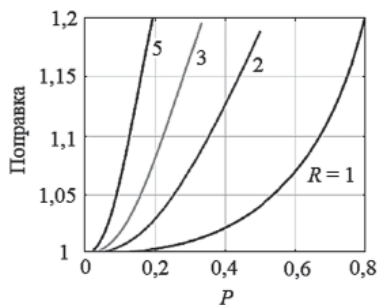


Рис. 1. Номограмма

Г.Р. Симанков, студ.;
рук. М.В. Горелов, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАГРЕВАТЕЛЯ ПАРОУВЛАЖНИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОДНОГО ТИПА



Рис. 1. Расположение электродов

Работа посвящена разработке нагревателя пароувлажнителя электродного типа. Пароувлажнители широко применяются в системах кондиционирования воздуха в общественных зданиях и на промышленных предприятиях. Параметры микроклимата производственного помещения влияют на качество производимой продукции. В настоящее время на рынке климатического оборудования РФ наблюдается нехватка изотермических увлажнителей на электродном нагреве, работающих в широком диапазоне паропроизводительности. Разработка конструкции нагревателя пароувлажнителя электродного типа является актуальной задачей, которая реализуется в рамках импортозамещения западного оборудования.

Основное уравнение для расчёта электродной системы:

$$\frac{3U_{\phi}^2 \cdot h}{\rho_{см} \cdot K_g} = G \cdot c_p \cdot \Delta t + G \cdot r,$$

где U_{ϕ} — линейное напряжение, В; $\rho_{см}$ — удельное сопротивление пароводяной смеси, Ом·мм; K_g — геометрический коэффициент электродной системы; h — высота электродов, мм; G — массовый расход воды, кг/с; Δt — разница температур воды, °С; c_p — изобарная теплоёмкость, Дж/(кг·°С); r — теплота парообразования воды при давлении в паровом цилиндре, Дж/кг.

Расположение электродов (1) в паровом цилиндре (2) представлено на рис. 1. Данная схема расположения электродов была принята на основании литературного анализа [1] как наиболее перспективная. Наружный диаметр парового цилиндра — 300 мм, высота электродов — 147 мм, расстояние между электродами — 3,1 мм. При таких геометрических характеристиках расчётная паропроизводительность увлажнителя составила 18 кг/ч, а потребляемая электрическая мощность — 15 кВт.

На основании полученных технических характеристик изготовлен опытный образец, который проходит испытания в лабораторных условиях кафедры ТМПУ НИУ «МЭИ». По завершению экспериментальных исследований предполагается серийное производство.

Литература

1. Кудрявцев И.Ф. Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. М., «Колос», 1975.

С.А. Хабарова, студ.; рук. О.Е. Прун, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГЕНЕРАТИВНОГО УТИЛИЗАТОРА ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА

В системах вентиляции и кондиционирования использование регенеративного теплоутилизатора является одним из методов энергосбережения. Однако кроме экономии тепловой энергии установка утилизатора тепла ведет к увеличению суммарных затрат электроэнергии на прокачку теплоносителей и на привод электродвигателя. В итоге экономический эффект от энергосбережения может быть снижен или даже отсутствовать.

Целью работы является оптимизация конструктивных и режимных параметров роторного воздухоподогревателя (РВП) с помощью тепло-гидравлической функции Z (1):

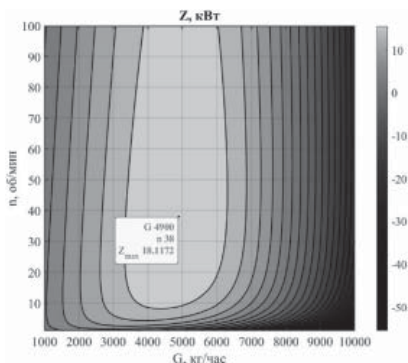


Рис. 1. Пример тепло-гидравлической характеристики РВП

$$Z = Q - b \Sigma N, \quad (1)$$

где Q — тепловая мощность РВП, кВт; ΣN — суммарные затраты электрической энергии на прокачку теплоносителей и на вращение насадки, кВт; b — постоянный коэффициент, равный отношению удельных расходов топлива на производство электрической и тепловой энергии [1]. Максимальное значение Z соответствует теоретически оптимальному режиму работы аппарата.

Для расчета тепло-гидравлических характеристик РВП (рис.1) были проведены серии поверочных расчетов в среде Matlab. В рассмотренной задаче максимум Z при оптимизации режима работы составил 18,1172 кВт, при этом расходы вытяжного и приточного воздуха должны составлять 4900 кг/ч, а частота вращения ротора — 38 об/мин. Максимум функции Z при оптимизации конструкции составил 17,38 кВт, при этом толщина насадки — 115 мм и сторона канала ротора 1,75 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **О.Е. Прун, А.Б. Гаряев** «Метод оптимизации теплообменных аппаратов, работающих в системах утилизации тепла» // Теплоэнергетика, 2020, № 8, с. 78–85.

А.А. Пилипенко, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ТОПОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В данной исследовательской работе необходимо было разработать топочное устройство для конвективной сушильной установки на природном газе с определёнными параметрами, заданными компанией заказчика [1]. При сжигании газа в камере сгорания образуется высокая температура, негативно влияющая на ограждающие конструкции [2]. Для предотвращения разрушения топочного устройства необходимо было предусмотреть систему охлаждения, путём создания канала между слоями изоляции.

В ходе работы была создана модель устройства, путём задания уравнений теплопроводности (1), конвекции (2) и излучения (3) для каждой из сред на пути движения тепла из топочной камеры через ограждающие конструкции [3]:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2), \quad (1)$$

$$q = \alpha \cdot (t_1 - t_2), \quad (2)$$

$$q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \left(\left(\frac{t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2}{100} \right)^4 \right), \quad (3)$$

где q — плотность теплового потока через ограждающую конструкцию, Вт/м; λ — теплопроводность слоя, Вт/(м·К); δ — его толщина, м; t_1 — температура на внутренней поверхности слоя, °С; t_2 — температура на внешней поверхности слоя, °С; α — теплоотдача среды, Вт/(м·К); σ — постоянная Стефана-Больцмана, ε — степень черноты.

Результатом стало определение температур поверхностей ограждающих конструкций. Были подобраны теплоизоляционные материалы, способные выдерживать температуру до 800 °С. Определено, что коэффициент избытка воздуха, при котором достигается необходимая температура газов, составляет 2,7.

Литература

1. **А.Б. Гаряев**, Энергосбережение в энергетике и технологиях / М.: Изд-во МЭИ, 2006. — 48 с.
2. **Лебедев П.Д.**, Теплоиспользующие установки промышленных предприятий (курсовое проектирование) / М.: Энергия, 1970. — 408 с.
3. **Цветков, Ф.Ф.**, Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / М.: Изд-во МЭИ, 2001. — 550 с.

В.А. Поженко, студ.; О.Е. Прун, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ВЛАЖНЫХ ГАЗОВ

Одним из способов экономии энергетических ресурсов и повышения энергоэффективности является использование влажных газов в поверхностных или смесительных конденсационных теплоутилизаторах. При глубоком охлаждении газов ниже точки росы происходит конденсация водяных паров на поверхности теплообмена, что увеличивает количество утилизируемого тепла, но усложняет расчёт таких аппаратов, так как универсальных методик для этого до сих пор не существует.

Целью работы являлся анализ и сравнение различных методик расчёта теплообмена при охлаждении влажных газов [1–6].

В работе А.А. Кудинова [1] было проведено экспериментальное исследование конденсационного теплоутилизатора. При этом коэффициент теплоотдачи по дымовому газу с учетом влаговываждения составил 68,72 Вт/(м²·К).

Были произведены расчеты коэффициента теплоотдачи по методикам других авторов. Наиболее близкие результаты к [1] дала методика [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

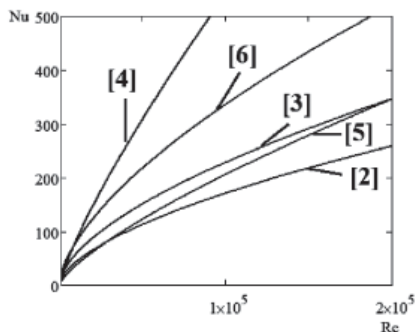


Рис. 1. Зависимость $Nu = f(Re)$ по данным [2–6]

Литература

1. **Кудинов А.А.**, Энергосбережение в теплогенерирующих установках. — Ульяновск: УлГТУ, 2000. — 148 с.
2. **Сынков И.В.**, «Влияние турбулентности и неравномерности воздушного потока на теплогидравлические характеристики теплообменников систем кондиционирования воздуха» — 2007 г. — 20 с.
3. **Osakabe M., Ishida K., Yagi K., Itoh T., Ohmasa K.**, Condensation heat transfer on tubes in actual flue gas. Heat Transfer—Asian Research, 2001, 30(2): 139–151.
4. **Jia L., Peng X., Yan Y., Sun J., Li X.**, Effects of water vapor condensation on the convection heat transfer of wet flue gas in a vertical tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001, 44(22): 4257–4265.
5. **Li., Saraireh M., Thorpe G.**, Condensation of vapor in the presence of non-condensable gas in condensers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2011, 54(17–18): 4078–4089.
6. **Terhan M., Comakli K.**, Design and economic analysis of a flue gas condenser to recover latent heat from exhaust flue gas. Applied Thermal Engineering, 2016, 100: 1007–1015.

И.О. Одинцов, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ПЛАСТИНЫ НА АЭРОДИНАМИКУ ПОТОКА В ОРЕБРЕННЫХ КОНВЕКТОРАХ

На сегодняшний день для расчёта параметров свободноконвективного теплообмена широко применяется формула Эленбааса (1) [1].

$$Nu = \frac{1}{24} \cdot \frac{\delta}{h} \cdot Gr^* \cdot Pr \cdot (1 - \exp(-\frac{35 \cdot h}{\delta \cdot Gr^* \cdot Pr}))^{\frac{3}{4}} \quad (1)$$

$$Gr^* = \frac{\delta^3 \cdot g \cdot \rho_w^2 \cdot \Delta t}{\mu_w^2 \cdot T_\infty},$$

где δ — расстояние между пластинами, м; h — высота пластин, м; μ_w — динамическая вязкость при температуре стенки, Па·с; ρ_w — плотность воздуха при температуре стенки, Дж/(кг·°C); T_∞ — температура окружающего воздуха, °K; Δt — температурный напор, °K.

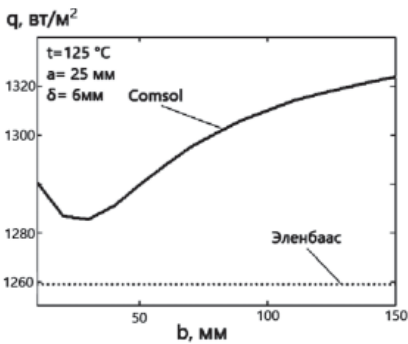


Рис. 1. Зависимость удельной плотности теплового потока от ширины пластины

ширины пластины «b» варьировалось от 10 до 150 мм.

Во всех рассмотренных случаях зависимость удельной плотности теплового потока от ширины пластины нелинейная. Причем, при увеличении температуры и высоты пластины наблюдается ярко выраженный экстремум функции. Изменение ширины в численных расчётах даёт в результате отличие от формулы Эленбааса до 12%. Это связано с подсосом воздуха в межреберное пространство.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. W. Elenbaas. Heat dissipation of parallel plates by free convection. Physica IX, no 1. Januari 1942.

К.О. Мызников, студ.;
рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВАЛОЧНОГО БИОГАЗА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Теплоснабжение города должно обеспечивать потребителей тепловой энергией. Тепло может быть получено из различных источников, таких как ископаемое топливо, ядерное топливо и геотермальная солнечная энергия. Однако их использование связано с рядом недостатков, таких как эффективность, стоимость добычи и транспортировки, загрязнение окружающей среды и угроза истощения источников невозобновляемой энергии. В связи с этим человечество исследует новые виды альтернативных источников энергии, способных удовлетворить потребителей и минимизировать неблагоприятное воздействие на человека и окружающую среду. Таким образом, использование биогаза для теплоснабжения города может стать экономически выгодным, наиболее эффективным и экологически чистым решением.

Биогаз — это горючий газ, который образуется из органической биомассы, находящейся в твердых коммунальных отходах (ТКО), при ее брожении в бескислородных условиях на полигонах ТКО. В процессе разложения активно участвуют три вида микроорганизмов: гидролизные, кислотообразующие и метанообразующие. Получение биогаза возможно благодаря переработке одних видов бактерий в другие, в определенной последовательности, осуществляемой ими. Соотношение метана и углекислого газа в биогазе может колебаться в пределах от 40% до 70% и от 30% до 60% соответственно. Концентрация азота обычно значительно ниже и не превышает 15%. Также в биогазе содержатся кислород и водород, но их концентрация не превышает 1%. В состав биогаза также могут входить десятки различных органических соединений в виде микропримесей. Энергия, получаемая из биогаза, может быть отнесена к возобновляемым источникам энергии, так как она выделяется из органического сырья, что делает производство газа на биогазовых станциях приоритетным направлением [1].

Полученный биогаз может использоваться в качестве альтернативного источника энергии для различных целей, включая теплоснабжение, производство электроэнергии и транспорт.

Литература

1. **Вайсман Я. И, Коротаев В.Н.** Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: Монография, 2012 г.

Е.Е. Слепцова, студ.; рук. Е.В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДДЕРЖАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В МУЗЕЕ-МАСТЕРСКОЙ

Проектирование систем вентиляции и кондиционирования на объектах культурного наследия является важной задачей, так как именно поддержание определенных условий микроклимата способно сохранить ценности прошлого для будущего поколения. Удаление влагоизбытков и вредных веществ, пагубно влияющих на состояние экспонатов, а именно, картин, является основополагающей для расчетов воздухообмена.

Немаловажную роль играет выбор схемы воздухораспределения, т.е. подачи воздуха в помещения расположения картин. В данной работе сравниваются и моделируются в CFD программе 3 схемы подачи воздуха: сверху вниз настиляющимися на потолок струями; сверху вниз настиляющимися веерными струями; в обслуживаемую зону низкоскоростными потоками [1].

В работе рассматривается мастерская площадью 123,3 м². Параметры внутреннего воздуха были приняты по [2] для холодного и теплого периодов года. В табл. 1 представлены результаты расчета воздухообмена для приточного и вытяжного воздуха.

Таблица 1. Расчетные значения приточного и вытяжного воздуха

Помещение	$L_{\text{пр}}$, м ³ /ч	$L_{\text{выт}}$, м ³ /ч
Выставочный зал	2550	2295

$L_{\text{пр}}$ — расход приточного воздуха; $L_{\text{выт}}$ — расход вытяжного воздуха.

В результате моделирования схем воздухораспределения была выбрана схема подачи приточного воздуха снизу вверх, так как в этом случае обеспечивается комфортный микроклимат в зоне расположения экспонатов, а также требуется меньший расход воздуха по сравнению с другими схемами на 10%. Помимо этого, были реализованы энергоэффективные мероприятия по экономичному расходованию воздуха и поддержанию необходимых параметров внутреннего воздуха в помещениях.

Литература

1. СП 60.13330.2020 Свод правил Отопление, вентиляция и кондиционирование.
2. СТО НП «АВОК» 7.7-2020 Музеи. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха.

*О.С. Прохоренко, студ.;
рук. А.Б. Горяев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ МАШИННЫХ ЗАЛОВ ДАТА-ЦЕНТРОВ ПРИ ПРЯМОМ ФРИКУЛИНГЕ

В последние годы наблюдается рост количества стоек дата-центров, энергопотребление на охлаждение дата-центров оценивается в 0,6–0,8 млн т.у.т в год, что составляет около 1% от энергетического баланса России. Перед нами стоит вопрос утилизации и отвода тепла, выделяемое ЦОД [1].

Дата-центры строятся в различных регионах. Один из подходов анализа энергозатрат является нанесение точек на *h_d*-диаграмму, характеризующих параметры наружного воздуха в каждые сутки года. Одновременно с этим наносятся области значений по требованиям ASHRAE [2].

В ходе работы, было проанализировано 10 городов. На рисунке 1 представлена *h_d*-диаграмма. Значения, которые попадают в рекомендуемый диапазон не требуют термовлажностной обработки воздуха. Точки, находящиеся ниже рекомендуемого диапазона требуют подогрева воздуха, справа от диапазона — осушка воздуха, а слева — увлажнение.

Астрахань — наиболее оптимальный город. При строительстве ЦОД необходимо меньше мощности и ресурсов для получения необходимых параметров воздуха. Такой подход помогает определить энергопотребление и выбрать оборудование для обработки воздуха, а график помогает оценить энергосбережение при прямом фрикулинге.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

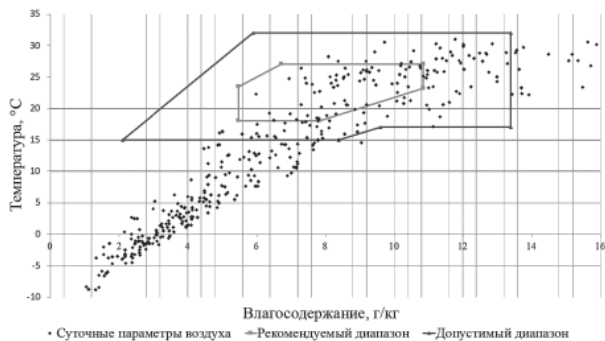


Рис. 1. *h_d*-диаграмма г. Астрахань

Литература

1. **Ebrahimi, K., Jones, G.F. and Fleischer, A.S.** A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities. 2014: 622–638.
2. **ASHRAE TC 9.9.** Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices. 2016.

Ю.О. Турулина, асп.;
рук. А.Б. Бирюков, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДНЫХ ПЕЧЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Для нагрева металла перед прокаткой в основном применяются проходные печи, работающие по принципу противотока. С точки зрения энергетической эффективности, а также снижения материальных затрат в прокатном производстве возникает необходимость применения режимов нагрева, обеспечивающих оптимальную производительность, минимальный расход топлива с сохранением механических свойств металла, а также минимальные потери с окалиной.

В данной работе была усовершенствована методика определения рациональных технологических параметров проходных печей в условиях изменяющейся производительности. В качестве исходного материала была принята математическая модель [1], позволяющая по заданному распределению продуктов сгорания по длине печи для достижения необходимой среднемассовой температуры определить продолжительность нагрева металла. В отличие от [1] в данной работе предлагается метод определения температуры металла по заданной температуре и продолжительности нагрева в печи, при соответствующей производительности.

Для определения температурного профиля печи, работающей в условиях переменной производительности, использовался метод, представленный в [2].

Подтверждение адекватности предложенной методики получено при расчете нагрева металла в методической комбинированной нагревательной печи с шагающими водоохлождающими балками стана 390 Макеевского металлургического завода, а также с применением численной явной конечно-разностной схемы. В результате рассчитанная с помощью предлагаемой методики температура металла на выходе из печи совпадает с эксплуатационными данными с достаточной степенью точности.

Литература

1. **Гусовский В.Л., Лифшиц А.Е.** Методики расчета нагревательных и термических печей: Учебно-справочное издание. — М.: Теплотехник, 2004. — 400 с.
2. **Бирюков, А.Б.** Методика определения температурного профиля методической печи, работающей в условиях пониженной производительности / А.Б. Бирюков, А.Н. Лебедев, Ю.О. Турулина // *Сталь*. — 2017. — № 10. — с. 74–77.

С.Л. Плечев, студ.; рук. О.Е. Прун, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ОХЛАДИТЕЛЯ ВОЗДУХА ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ

Теплообменные аппараты влажного воздуха — это аппараты, в которых горячим теплоносителем является влажный воздух и в процессе охлаждения часть влаги может конденсироваться на поверхности теплообмена. Они широко применяются в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Существует ряд инженерных методов учёта влаговыпадения в теплообменниках, однако все они подразумевают постоянство или несущественное изменение температуры стенки. Однако в некоторых случаях температура стенки теплообменного аппарата может меняться значительно, и чтобы учесть это в расчете, требуется разбивать поверхность теплообмена на участки, где температура меняется незначительно [1].

Цель данной работы заключается в разработке методики расчёта воздухоохладителя при охлаждении воздуха высокой влажности.

При этом в процессе охлаждения влажного воздуха выделяют три характерные зоны: зона сухого теплообмена, зона теплообмена с влаговыпадением на стенке и зона объемного влаговыпадения (образование тумана). Последующий расчет производится для каждой зоны по отдельности. Для более точных результатов зону III (рис. 1) следует разбивать на участки, где температура стенки условно постоянна.

Для расчета зоны с объемным влаговыпадением были проведены серии проектных расчетов в среде Matlab. Установлено, что количество участков зоны III зависит от её положения на кривой насыщения. Чем левее расположен процесс, тем большее количество участков требуется просчитать отдельно для получения более точных результатов. Это происходит из-за изменения кривизны линии насыщения. В среднем оптимальное количество участков составило от 5 до 10 в рассмотренных случаях. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

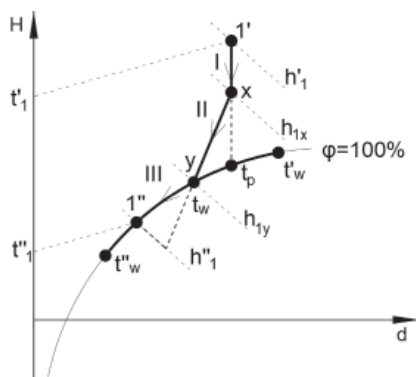


Рис. 1. Процесс охлаждения влажного воздуха в теплообменнике-утилизаторе

Литература

1. О.Е. Прун, А.Б. Гаряев «Расчет пластинчатых теплообменников с газообразными теплоносителями» / А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев — М.: МЭИ, 2022.

Д.Б. Коростелева, студ.;
рук. Н.В. Хомченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЯ

Современные требования к энергоэффективности зданий ставят перед инженерами новые задачи, которые требуют соответствующих современных решений. При расчете теплопотерь здания необходимо учитывать теплопотери через ограждающие конструкции, которые в свою очередь зависят от теплопроводности материалов, теплоизоляции, площади окон и дверей и т.д., ручной расчет всех этих параметров является очень трудоемким и затратным по времени процессом. В этом случае, использование САПР программ, позволяющих автоматизировать расчет теплопотерь здания, становится как никогда актуальным.

В работе рассматривается двухэтажное административное здание площадью 449,67 м², которое было смоделировано в программном комплексе, предназначенном для автоматизированного проектирования и создания информационных моделей. Однако поскольку автоматизированный метод расчета в подобных программах подходит исключительно для укрупненных расчетов теплопотерь здания, и не может являться основанием для дальнейшего проектирования [1], был разработан и прописан алгоритм, дополнительно внедренный в программу, позволяющий проводить вычисления на основе [2].

Параллельно был выполнен расчет без использования автоматизированных программа по методике [2]. Полученные различными способами результаты сведены в табл.1:

Таблица 1. Значения результатов теплопотерь

$Q_{расч}$, Вт	$Q_{авто}$, Вт	$Q_{алгор}$, Вт
24122	26775	24568

$Q_{расч}$ — теплопотери по методике [2]; $Q_{авто}$ — теплопотери полученные автоматическим расчетом; $Q_{алгор}$ — теплопотери полученные с помощью программного алгоритма

В результате проведенной работы было выявлено, что предусмотренный по умолчанию расчет в программе дает завышенный на 11% результат, а использование алгоритма позволяет снизить расхождение до 2%.

Литература

1. **Мороз М.В., Витязева М.М.** ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА AUTODESKREVIT // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. №1 (40)
2. **СП 50.13330.2012** Свод правил Тепловая защита зданий.

Д.В. Огородова, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУБЧАТОГО ОРЕБРЕННОГО РАДИАТОРА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Выбор геометрических параметров оребренного радиатора является важной задачей оптимизации, которая требует определения целевой функции и задания ограничений на параметры радиатора. В рамках оптимизации можно выделить три основные задачи:

1. Минимизация массы радиатора m при заданной передаваемой тепловой мощности Q .
2. Максимизация передаваемой тепловой мощности Q при заданной массе радиатора m .
3. Максимизация отношения передаваемой тепловой мощности Q к массе радиатора m на единицу длины трубки радиатора. [1]

Независимыми переменными в рассмотренных задачах являются толщина и высота ребра, шаг между ребрами, а в случае первых двух задач также и длина радиатора L . Также необходимо задать ограничения на параметры радиатора, такие как максимальная толщина ребра или минимальный шаг между ребрами, которые могут быть обусловлены технологическими ограничениями или требованиями к производительности радиатора. Неизменяемыми значениями в расчетах полагаются температура поверхности несущей трубы, температура ребер, диаметр трубы, плотность и теплопроводность материала радиатора.

Постановка задачи оптимизации выглядит так. Радиатор массой M передает тепловую мощность Q_{Σ} . Нужно найти оптимальные значения расстояния между ребрами, высоту и толщину ребра, при которых достигается максимум целевой функции F :

$$F = \frac{Q_{\Sigma}}{M} = \frac{Q_{\Sigma} = \sum Q_p + \sum Q_{\text{тор}} + \sum Q_{\text{гл}}}{\pi \cdot d \cdot L \cdot \rho_{\text{тр}} \cdot \delta_{\text{тр}} + \rho_p \cdot F_p \cdot \delta_p \cdot \frac{L}{s + \delta_p}} = \max$$

Известны диаметр трубы, плотность материала ребра и корпуса трубы, коэффициент теплопроводности ребра, температуры стенки радиатора и окружающего воздуха. Предложен метод поиска оптимальных геометрических параметров на языке программирования Python. Расчет оптимальных геометрических параметров проводится перебором трехмерного массива целевой функции, последовательно вычисляемого для каждого значения независимой переменной.

Литература

1. **Piotr Wais.** Fin-Tube Heat Exchanger Optimization // Heat Exchangers — Basics Design Applications. 2012. p. 343–366. ISBN: 978-953-51-0278-6

М.Р. Тахохова, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХОЛОДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Необходимость и целесообразность хранения и переработки фруктов и овощей в сельскохозяйственных предприятиях объясняются несколькими факторами. Во-первых, это позволяет сократить потери продукции при ее транспортировке от поля до потребителя. Во-вторых, переработка и хранение улучшают качество продукции и обеспечивают население круглогодично. В-третьих, это позволяет более рационально использовать транспорт и трудовые ресурсы, а также повысить экономическую эффективность производства в сельскохозяйственных предприятиях.

Наиболее эффективным способом хранения плодов и овощей является использование плодоовощных хранилищ с регулируемой газовой средой. При этом плоды хранятся в газовой среде с низкой температурой (0–4 °С), содержащей мало кислорода и много углекислого газа. Этот метод хранения обладает рядом преимуществ, таких как увеличение сроков хранения, уменьшение потерь в массе без снижения качества и возможность сохранения плодов после переноса из хранилища при комнатной температуре в течение 10–12 дней. Однако основным недостатком такого способа являются большие энергозатраты на работу компрессионных установок [1].

Для повышения энергоэффективности можно использовать системы естественного охлаждения FFC, которые используют холод окружающей среды и передают его через роторный рекуператор. Эти установки особенно эффективны в регионах с низкой среднегодовой температурой. Они имеют ряд преимуществ, таких как изолированные внешний и внутренний контуры, экономия электроэнергии, простота и надежность, а также возможность модернизации [2].

Таким образом целесообразно применять систему естественного охлаждения FFC. Однако главной задачей является адаптация этой установки под конкретные потребности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **Балашова С.А.** Организация садоводства: учеб. пособие. — М.: Изд-во РГАЗУ, 2012, 65 с.
2. **Волконович Л., Сырги К.** Энергосберегающие, экологические системы естественного холода для хранения пищевых продуктов. Кишинев: 2002, 334 с.

Секция 37

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Energy saving and industrial ecology

Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Яковлев Игорь Васильевич

Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич

*А.А. Гузев¹, асп.; D. Rosario², студ.;
рук-ли Н.М. Савченкова¹, к.т.н., доц.; И.Ф. Самсон¹, к.т.н., доц.
(¹ НИУ МЭИ», Москва; ² INTEC, Santo Domingo)*

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ИСПАРИТЕЛЕ СОЛНЕЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ АДСОРБЦИОННОГО ТИПА

Целью работы является компоновка испарителя в холодильной камере солнечной холодильной установки адсорбционного типа. Для этого была поставлена задача произвести расчеты испарителей цилиндрического типа.

Испаритель помещается в резервуар с водой, который находится внутри кожуха холодильной камеры. Это необходимо для обеспечения равномерного охлаждения вокруг испарителя, что позволяет производить лед в процессе адсорбции. Форма и размер испарителя определяются параметрами коллектора, конденсатора и активированного угля [1, 2].

Для определения оптимальных геометрических параметров были проведены расчеты высоты цилиндров испарителей и суммарной площади поверхностей теплообмена при заданном объеме [3].

Из полученных данных, стараясь добиться наибольшей площади зеркального испарения, были подобраны для каждого испарителя необходимое количество трубок, определенной высоты.

Рассчитаны коэффициенты теплоотдачи от метанола к вертикальной и к горизонтальной металлической стенке. Также произведен расчет термических сопротивлений со стороны метанола и коэффициента теплопередачи [3].

Было посчитано термическое сопротивление и температура метанола при различных толщинах слоя льда при соблюдении условия постоянства теплового потока [3].

Литература

1. **Самсон И.Ф.** Совершенствование характеристик и разработка метода расчета солнечной адсорбционной холодильной установки периодического действия: дис. канд. тех. наук: 05.04.03. — М., 2015 — 132 с.
2. **Samson, I., Sartarelli, A., Echarri, R., Cyrulies, E., & Vera, S.** (2011). Prototipos de refrigeradores solares por adsorción. *Energía solar, aplicaciones termicas y quimicas*, 10.
3. **Çengel, Y.A.** (2012). *Termodinamica*. México: The McGraw Hill Companies, Inc.

*Г.И. Парфенов, асп.; М.О. Абышкин, студ.;
рук-ли В.В. Тютиков, д.т.н., проф.;
Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ В НЕРАБОЧЕЕ ВРЕМЯ

Согласно оценкам экспертов Московского энергетического института [1] по состоянию на 2016 год в РФ затраты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха и ГВС составляют примерно 160 млн т. у. т. (20% топливно-энергетического баланса страны). На отопление расходуется 80% из вышеуказанных затрат.

В диссертационном исследовании [2] была предложена методика определения значения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций (далее СПК), отличающаяся учетом термовлажностных режимов эксплуатации здания и эффекта от предварительной осушки воздуха. Для сбережения энергетических ресурсов в нерабочее время применяют режим «дежурного» отопления, при котором температуру воздуха понижают до температуры не ниже 5°C, выполняя условие не выпадения конденсата на твердых поверхностях, что особенно актуально для ряда производств с высокой влажностью воздуха. При определении минимальной температуры воздуха в помещении актуальной задачей является расчет не только приведенного сопротивления теплопередаче СПК с экранами, но и значения температурного запаса, который в большей степени зависит от разности температур на внутренней поверхности между центральной и краевой зонами светопрозрачной части конструкции.

На основании трехмерного имитационного моделирования процесса теплопередачи через оконный блок с теплоотражающими экранами были определены зависимость вышеуказанного температурного запаса от условий эксплуатации данной конструкции, а также место расположения зоны с минимальной температуры. Были внесены уточнения в методику по определению минимальной температуры внутреннего воздуха.

Литература

1. **Прима Л.В.** Информационная база данных по оптическим и теплозащитным характеристикам строительных материалов / Л.В. Прима, М.В. Горелов, В.С. Глазов, Э.К. Фелькер // Энергосбережение — теория и практика: Тр. 8-ой междунар. школы-сем. молодых учёных и специалистов. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
2. **Смирнов Н.Н.** Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. Иваново, 2022.

В.М. Мельников, асп.; М.В. Горелов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗДАНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

На примере многоэтажного жилого здания, расположенного в городе Омск, рассмотрено влияние материалов ограждающих конструкций на значение коэффициента тепловой аккумуляции [1]. Коэффициент тепловой аккумуляции здания может быть определен по формуле 1, ч:

$$\beta = \frac{k_T \sum \delta_i c_i \rho_i F_i / 2}{3,6 [\sum k_j F_j + L(c\rho)_{вз}]} \quad (1)$$

где k_T — поправочный коэффициент для расчёта теплоаккумулирующей способности различных ограждающих конструкций; δ_i — толщина, м; c — теплоёмкость, кДж/(кг·°C); ρ — плотность материала, кг/м³; F — площадь ограждения, м²; L — расход инфильтрующего воздуха, м³/ч; k_i — коэффициент теплопередачи наружных ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C).

Таблица 1. Материалы ограждающих конструкций здания

Наименование материала	Соотношение материалов (1 вариант), %	β , ч	Соотношение материалов (2 вариант), %	β , ч
Битум	0,6	95	0,6	119
Ц/П стяжка	5,37		5,37	
Керамзит	0,65		0,65	
ЭППС	13,6		13,6	
Ж/Б	21,56		24,35	
Газобет. блок	5,79		3,0	
Мин. Вата	4,64		4,64	
Отделка	5,92		5,92	
Бетон	41,73		41,73	
Стекло	0,14		0,14	

В таблице 1 представлены материалы ограждающих конструкций здания и их удельный показателей в общей массе здания. При изменении удельного показателя материала с большой плотностью увеличивается коэффициент тепловой аккумуляции. Коэффициент тепловой аккумуляции 2 варианта выше 1 варианта на 25%.

Литература

1. **Кононович Ю.В.** Тепловой режим зданий массовой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 157 с.

Р.В. Браффор, студ.;
рук. Н.М. Савченкова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ КУБА

Развитие электротехнической промышленности на Кубе было поддержано инвестиционной программой строительства нескольких ТЭЦ, что повлекло за собой скачок в увеличении генерирующих мощностей и производства энергии. После распада социалистического лагеря в Европе экономическая и энергетическая ситуация Республики Куба ухудшается.

В настоящее время продвигается стратегическая программа перспективного развития возобновляемых источников энергии и эффективного использования энергии (FRE). Реализуя новую энергетическую политику, кубинское правительство приняло Указ [1]. Программа экономии электроэнергии на Кубе (РАЕС) принята в 1997 году.

На производство электроэнергии на Кубе приходится 59% общего потребления топлива, за ним следуют промышленный сектор (25%), транспортный сектор (7%) и жилищный сектор (3%). Оставшаяся часть потребляется в строительстве, сельском хозяйстве, торговле и сфере услуг.

Что касается потребления электроэнергии, население потребляет 48%, а 38% потребляется государственным сектором, который включает в себя всю энергию, потребляемую в агентствах и высших организациях экономического управления (OSDE) кубинского государства, с 14% в трансформации. и потери при передаче. Министерство промышленности (MINDUS) и Министерство пищевой промышленности (MINAL) являются секторами с высоким потреблением энергии, в которых преобладают крайне устаревшие отрасли со сроком эксплуатации более 25 лет, а энергетические системы имеют высокую степень износа, что оказывает влияние на отрасль.

Министерство энергетики и горнодобывающей промышленности (MINEM) видит, что наибольшая доля потребления энергии приходится на электростанции, никелевую промышленность и нефтеперерабатывающие заводы; ожидается, что улучшение этих отраслей принесет значительные экологические и энергетические выгоды.

Литература

1. **Указ-Закон № 345** О развитии возобновляемых источников энергии и эффективном использовании энергии // Официальная Газета Республики Куба. (GOC-2019-1063-095). — 2019.
2. **Arrastía-Avila, M.A., Glidden, L.M.** Cuba's Energy Revolution and 2030 Policy Goals: More Penetration of Renewable Energy in Electricity Generation. *International Journal of Cuban Studies*, pp. 73-90. — 2017.
3. **Швец Е.А.** Энергетическая революция на Кубе // *География*, № 21 — 2009.

А.А. Никаева, студ.; рук. М.В. Горелов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СВАИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МКД В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Многолетнемерзлыми понимаются грунты, имеющие отрицательную или нулевую температуру, содержащие в своем составе лед и находящиеся в мерзлом состоянии в течение многих лет (от трех и более) [1].

Цель работы — предложить рекомендации по стабилизации температуры многолетнемерзлых грунтов.

На рис. 1 представлена динамика среднегодовой температуры воздуха. Установлено, что температура повысилась на 4°C и составила -7,5°C. Одним из последствий этого явления специалисты выделяют оттайку мерзлоты. В зоне многолетней мерзлоты существуют особые требования к строительству, поэтому определение несущей способности грунта важно на этапе проектирования здания.

Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) производится исходя из условия:

$$F \leq F_u / \gamma_n, \quad (1)$$

где F — расчетная нагрузка на основание, соответствующая 150 т; F_u — несущая способность (сила предельного сопротивления) основания, т; γ_n — коэффициент надежности по назначению сооружения.

В результате выполнения расчёта начальные температуры давали несущую способность 104 т, что не соответствует проектной нагрузки сваи в 150 т. После установки термостабилизатора несущая способность составила 186 т. Использовании охлаждающих устройств позволяет понизить температура грунта на 2–3 °С, благодаря чему было достигнуто оптимальное значение несущей способности свайного фундамента.

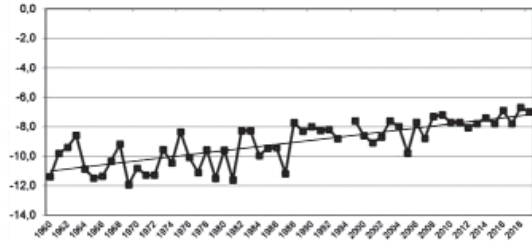


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха в г. Якутске на период с 1961 по 2018 гг.

Литература

1. Березовский, Б.И. Проектирование и строительство зданий в условиях сурового климата и вечномёрзлых грунтов [Текст] / Б.И. Березовский, А.П. Васильковский // Ленинград: Стройиздат, 1977. — 232 с.

О.М. Голубцов, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АККУМУЛЯЦИЯ ТЕПЛОТЫ В ГРУНТОВОМ АККУМУЛЯТОРЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Разработка и исследование грунтовых аккумуляторов теплоты повышенной температуры являются актуальными задачами, так как позволяют использовать энергию низкопотенциальных источников энергии. Однако эти источники являются нестабильными, поэтому их теплоту необходимо аккумулировать [1], чтобы использовать в периоды дефицита.

Целью работы является разработка системы отопления здания с активной теплозащитной ограждающих конструкцией и грунтовым аккумулятором теплоты [2] повышенной температуры.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: Расчет теплового баланса здания (по СП 50.13330.2012). Разработка методики расчета грунтового аккумулятора повышенной температуры. Расчет геометрических характеристик грунтового аккумулятора теплоты. Разработка схемы системы отопления от грунтового аккумулятора теплоты.

Формула для определения тепловых потерь:

$$Q_{\alpha} = Q' \cdot \lambda_{\text{грунт}} \cdot (t_0 - t_{0,c}) \cdot (d_{\text{акк}} / 2) \cdot 2 \cdot \pi, \text{ Вт;}$$

где Q' — безразмерный коэффициент теплопотерь, $\lambda_{\text{грунт}}$ — теплопроводность грунта, t_0 — средняя температура теплоносителя, $d_{\text{акк}}$ — диаметр аккумулятора. Безразмерный коэффициент тепловых потерь Q' определяется по зависимости, предложенной в [3].

Количество скважин, с учетом наличия поверхностной теплоизоляции, равно 906. Цена данного грунтового аккумулятора при создании скважин методом гидробурения составит 9,053 млн. руб., что в несколько раз меньше стоимости возведения здания, и организация такой системы может быть полезна, например, когда отсутствуют доступ к системам теплоснабжения и источники топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **Пурдин М.С. и др.** Моделирование установившегося теплообмена в цилиндрическом однофазном аккумуляторе теплоты при колеблющемся граничном условии первого рода // *X ЭТиП*, 2020, с. 82–87.
2. **Пурдин М.С., Гаряев А.Б.** Исследование тепловых характеристик твердого изолированного цилиндрического аккумулятора теплоты // *Вестник ЮУГУ. Серия: Энергетика*. 2023. Т. 23, № 2. С. 73–82.
3. **Пурдин М.С., Магомедова Р.** Тепловые притоки и потери в грунтовых теплообменниках и аккумуляторах теплоты // *МНТК СПРЭТТ*, 2023 г. с. 234–236.

А.Э. Пастушенков, студ.; Я.А. Гончаров, студ.;
рук. М.В. Горелов, к.т.н.

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ РАБОТЕ ВНУТРИПОЛЬНЫХ КОНВЕКТОРОВ ОТОПЛЕНИЯ

В настоящее время при проектировании жилых и общественных зданий всё больше используют панорамное остекление и выбирают в качестве отопительного прибора внутрипольные конвектора с вынужденной конвекцией (далее ВК) и свободной конвекцией (далее СК).

В качестве объекта исследований была рассмотрена квартира-студия площадью 13,5 м², с витражом 2,6 x 3,15 м и сопротивлением теплопередаче остекления 0,75 (м²·К)/Вт. В качестве отопительного прибора были выбраны внутрипольные конвектора СК и ВК.

Тепловые потери помещения составили 1156 Вт. Для компенсации тепловых потерь были подобраны два типа приборов «Techno»: KVZ(KVP)250-120-2400 (СК), KVZ(KVP)250-120-700 (2 штуки, ВК).

Таблица. Сравнительные характеристики конвекторов

Наименование	Ед. изм.	Значение
Мощность конвектора со СК	Вт	1212
Площадь конвектора со СК	м ²	6,3
Длина конвектора со СК	м	2,4
Кольцевая хар. сопротивления конвектора со СК	(Па·10 ⁻⁴)/(кг/с) ²	50,24
Стоимость конвектора со свободной конвекцией	руб	27302
Суммарная мощность конвекторов с ВК	Вт	1428
Суммарная площадь конвекторов с ВК	м ²	2,4
Длина конвекторов с ВК	м	1,4
Кольцевая хар. сопротивления конвекторов с ВК	(Па·10 ⁻⁴)/(кг/с) ²	37,5
Электрическое потребление конвекторов с ВК	Вт	2,4
Стоимость конвекторов с ВК	руб	26082

Проведенные расчеты позволяют сделать выводы о том, что внутрипольные конвекторы ВК имеют меньшую площадь отопительного элемента чем конвекторы СК, сопротивление конвектора СК по водяному контуру выше на 25% чему у конвекторов ВК. Также необходимо отметить, что затраты на привод вентилятора у конвектора ВК за отопительный период незначителен и не принимался во внимание.

Окончательное решение об использовании типа конвектора зависит от размеров окна, под которым он устанавливается (рекомендуется перекрытие не менее 70% ширины), и дизайнерских решений.

А.И. Алимужкина., студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ С СИСТЕМОЙ «ТЕПЛЫХ» ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, ГРУНТОВЫМ АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛОТЫ И ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Аккумуляция теплоты в теплый период года в грунте и отбор теплоты в отопительный период — эффективный способ использования низкопотенциальной теплоты и энергосбережения, который уменьшает загрязнение окружающей среды. В разработанной системе отопления применяются низкопотенциальные источники энергии, «теплые» ограждающие конструкции и грунтовый аккумулятор теплоты. Работа обладает новизной и является актуальной.

В работе рассчитаны тепловые потери складского здания и разработана система теплоснабжения здания, состоящая из контура грунтового аккумулятора теплоты [1–2], калорифера, который расположен снаружи здания и позволяет в теплый период года накапливать теплоту из окружающей среды в аккумуляторе, теплового насоса, контура отопления активной тепловой защиты и теплообменниками воздушного отопления.

В таблице 1 приведены основные показатели системы теплоснабжения здания.

Таблица 1. основные результаты расчетов

Общая площадь пола помещений	$\Sigma F_{\text{пол}}$	м²	2500
Стоимость строительства здания	$S_{\text{зд}}$	млн руб.	25
Нагрузка на ГТА за ОП	$Q_{\text{ОП}}$	Гкал	173,5
Период аккумуляции теплоты в грунте	τ	ч	8760
Шаг бурения скважин	d	м	1,411
Площадь единичного аккумулятора	$F_{\text{акк}}$	м ²	1,566
Глубина скважин	m	м	20
Объем аккумулятора	V	м ³	23265
Площадь аккумулятора	F	м ²	1163
Диаметр аккумулятора	D	м	38,49
Количество скважин	n	шт.	743
Стоимость оборудования и бурения скважин	ΣS	млн руб.	11

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **Пурдин М.С., Гаряев А.Б.** Исследование тепловых характеристик твердого изолированного цилиндрического аккумулятора теплоты // Вестник ЮУГУ. Серия: Энергетика. 2023. Т. 23, № 2. С. 73–82.
2. **Пурдин М.С., Цепляева Е.В.** Определение значения коэффициента эффективной температуропроводности грунта в пассивном эксперименте // Промышленная энергетика, 2022, № 11, стр. 50–57.

Н.В. Авдокунин, асп.;
рук. И.В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ПОДДЕРЖАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ДАТА-ЦЕНТРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ФРИКУЛИНГА

В работе исследуются режимы поддержания оптимальных параметров приточного воздуха в центрах обработки данных при использовании фрикулинга. Фрикулинг — использование наружного воздуха с целью охлаждения оборудования дата-центров не требующее существенных затрат энергии. Существуют оптимальные и допустимые условия по параметрам приточного воздуха, ограничивающие применение наружного воздуха без предварительной его подготовки. Область оптимальных параметров ограничена температурами 18...27 °С, относительной влажностью 20...60%.

В работе рассматриваются четыре режима работы вентиляционной системы охлаждения оборудования дата-центров, различающиеся по температуре и относительной влажности наружного воздуха. При относительной влажности менее 20% последовательно осуществляются два процесса: смешение наружного и удаляемого воздуха и адиабатное увлажнение. При $\varphi > 20\%$ и температуре наружного воздуха $t_n \leq 18$ применяется подогрев воздуха путем частичной рециркуляции удаляемого воздуха. В диапазоне температур 18...27 °С охлаждение проводится наружным воздухом без какой-либо его подготовки. При $t_n > 27$ °С осуществляется адиабатное испарительное охлаждение наружного воздуха до относительной влажности 60%. Регулирование температуры и влажности приточного воздуха осуществляется согласно полученным зависимостям для относительных расходов воздуха на рециркуляцию и воды в камере орошения.

На рис. 1 приводится пример расчета параметров приточного воздуха согласно предлагаемому алгоритму обработки воздуха для условий г. Екатеринбурга. Использовались графики стояния средних температур и относительной влажности наружного воздуха.

Полученные результаты послужат основой для дальнейших расчетов энергетической эффективности применения фрикулинга.

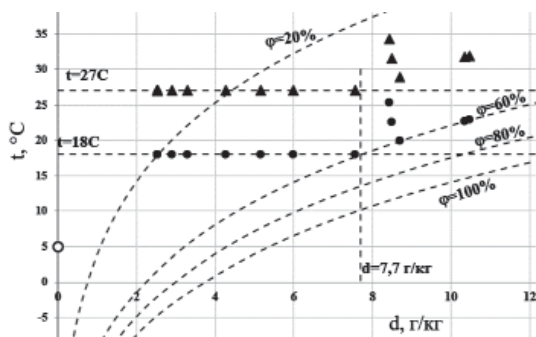


Рис. 1. Параметры \bullet — приточного и \blacktriangle — удаляемого воздуха

Н.В. Авдокунин, асп.;
рук. И.В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

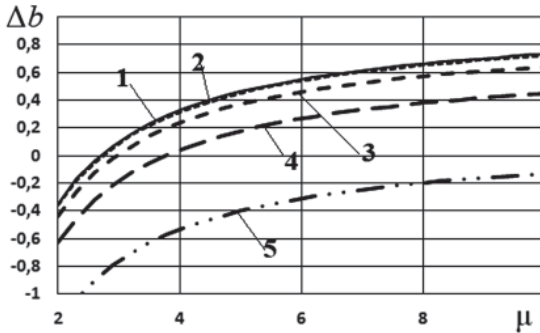


Рис. 1. Влияние $Q_{тн}/Q_{о^р}$ на удельную экономию в зависимости от значения коэффициента трансформации для климатических условий г. Москвы: 1 — $Q_{тн}/Q_{о^р} = 0,88, \gamma = 0,0009$; 2 — $Q_{тн}/Q_{о^р} = 0,81, \gamma = 0,004$; 3 — $Q_{тн}/Q_{о^р} = 0,68, \gamma = 0,033$; 4 — $Q_{тн}/Q_{о^р} = 0,54, \gamma = 0,104$; 5 — $Q_{тн}/Q_{о^р} = 0,35, \gamma = 0,319$.

электрической энергии на привод компрессора. Энергетическую эффективность теплонасосной установки предлагается оценивать удельной экономией энергоресурсов в условном топливе

$$\Delta b = \frac{\Delta B}{\Delta Q b_Q} = 1 - \left(\frac{\eta_Q}{\eta_P}\right) \left(\frac{1}{\mu} + \gamma\right) = 1 - \left(\frac{b_P}{b_Q}\right) \left(\frac{1}{\mu} + \gamma\right),$$

где η_Q, η_P — КПД по выработке тепловой и электрической энергии на источниках; b_Q и b_P удельные расходы условного топлива по выработке тепловой и электрической энергии; μ — коэффициент трансформации теплового насоса; $\gamma = \Delta \text{Э}^{\text{эк}}/\Delta Q$ — относительное потребление электрической энергии электрическим котлом, или $\gamma = \Delta Q^{\text{вк}}/\Delta Q$; $\Delta \text{Э}^{\text{эк}}$ — количество электрической энергии, потребляемое электрическим котлом, кВт·ч; $\Delta Q^{\text{вк}}$ — количество тепловой энергии, поставляемое тепловым источником, кВт·ч; ΔQ — количество тепловой энергии, полученное от теплового насоса, кВт·ч.

Получены формулы для расчета относительной энергии, затрачиваемой дополнительным источником (γ), с учетом производительности и коэффициента трансформации теплового насоса в зависимости от температуры наружного воздуха. Пример расчета удельной экономии в зависимости от коэффициента трансформации и относительной производительности теплового насоса приводится на рис. 1.

В работе рассматривается влияние режимов работы и выбора теплопроизводительности на экономии энергоресурсов при применении тепловых насосов для теплоснабжения зданий. Обычно тепловые насосы обеспечивают часть тепловой нагрузки по теплоснабжению, другая часть покрывается дополнительным источником, потребляющим электрическую или тепловую энергию. Кроме того, тепловые насосы требуют затрат

*М.С. Синьбухова, В.С. Булаева, студенты;
рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПОРЯДОЧЕННОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Исследование свойств капиллярнопористой структуры является важной задачей. Известно, что пористая поверхность часто используются в тепловых трубах, однако в основном это неупорядоченная структура, характеристики которой, в том числе, смачиваемость и капиллярные силы, не являются стабильными. В связи с этим, большой интерес представляет упорядоченная пористая структура.

Нами было изучены капиллярные свойства пористых поверхностей в тепловых трубах из чего была выявлена следующая зависимость свойств от габаритных размеров. Важное влияние на гидродинамику теплоносителя в тепловой трубе оказывают размеры, длина каналов капиллярной структуры и взаимодействие ее материала с жидкостью. Данная структура должна быть способна перемещать теплоноситель на требуемое расстояние и обеспечить необходимое капиллярное давление. Для эффективной работы тепловой трубы необходимо создать оптимальную пористую структуру, чтобы обеспечить достаточный расход теплоносителя, но при этом высокую скорость движения теплоносителя. При увеличении вязкости жидкости в тепловых трубах, движение теплоносителя замедляется, что может привести к снижению эффективности теплопереноса и ограничить длину капилляров, что приведет к уменьшению площади переноса тепла. мощности насоса, что ухудшит энергетическую эффективность системы.

Однако вязкость жидкости может быть компенсирована изменением других параметров структуры тепловой трубы. Например, увеличение диаметра поровых каналов может снизить сопротивление движению жидкости. Также, изменение геометрии или материала пористой структуры может способствовать улучшению тепловой производительности и снижению влияния вязкости.

Из выше сказанного делаем вывод, что при производстве расчетов пористой структуры тепловой трубы нам необходимо учитывать ее размеры и характеристики, так как это влияет гидродинамику теплоносителя в ней.

Литература

1. **Surendra Singh Rathorea, Balkrishna Mehtaa, Pradeep Kumarb, Mohammad Asferc** Flow Characterization in Triply-Periodic-Minimal-Surface (TPMS) based Porous Geometries.
2. **Л.П. Пилинович, М.В. Тумилович, А.Г. Кравцов, Д.М. Румянцев, К.В. Гриб** Исследование процесса получения капиллярно-пористых материалов из металлических порошков для тепловых труб.

В.В. Юзюк, асп.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФРЕОНОВ ДЛЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В последние десятилетия тепловые насосы стали важным компонентом в области энергосбережения и климатической техники. При низких температурах окружающей среды в отопительный период грунтовые тепловые насосы сохраняют высокий коэффициент трансформации. В качестве примеров можно привести проекты по теплоснабжению зданий от грунтовых теплообменников, например, в Сиань [1] или Нюрнберге [2]. В [1] применены три грунтовых теплообменника глубиной 2 км для отопления и вентиляции здания общей площадью 43 048 м². Применение грунтовых теплообменников на такой глубине позволяет одновременно использовать геотермальный потенциал и увеличить мощность грунтового теплообменника [3].

Термодинамическая эффективность циклов тепловых насосов в первую очередь зависит от применяемого рабочего тела. В работе [4] проанализировано 27 вариантов рабочих тел. Выделяют фреоны R134a, R143a, RC318, R290, R600a, R152a/R134a (20/80), R152a, R32, PB R31-10/R846 (90/10), которые позволяют достичь большого коэффициента трансформации теплоты. Особенно выделяются композиции на основе фторуглеродов (R31-10, RC318) с добавками гексафторида серы (5–10% R846). Однако гексофторид серы является наиболее сильным парниковым газом из известных. Выбор этих газов противоречит цели создания тепловых насосов, как альтернативы сжигания топлива. Поэтому работу по подбору эффективных фреонов для тепловых насосов необходимо продолжать. На фоне прочих выделяется изобутан (R600a), как наиболее эффективный и безопасный фреон, но горючий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **Wang Z., Wang F., Liu J., Ma Z., Han E., Song M.** Field test and numerical investigation on the heat transfer characteristics and ... // *Energy Conversion and Management*, 2017, Vol. 153, pp. 603–615.
2. **Luo J., Rohn J., Bayer M., Priess A., Wilkmann L., Xiang W.** Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany // *Geothermics*, 2015, Vol. 53, pp. 57–66.
3. **Пурдин М.С., Магомедова Р.** Тепловые притоки и потери в грунтовых теплообменниках и аккумуляторах теплоты // Сб. тр. Межд. науч.-техн. конф. СПРЭТТ (XXII Бенардосовские чтения), Иваново, 2023 г. с. 234–236.
4. **Сухих А.А., Антоненкова И.С.** Термодинамическая эффективность теплонасосных установок // *Вестник Международной академии холода*. 2013. № 1. С. 43–47.

Р. Магомедова, асп.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В АКТИВНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Для повышения энергетической эффективности тепловых насосов, работающих совместно с грунтовыми аккумуляторами теплоты [1, 2], требуется снижение температурного уровня теплоносителя в системе отопления зданий и сооружений. Наименьшей температуры теплоносителя можно достичь тогда, когда теплоноситель подогревает внутреннюю поверхность теплозащитной ограждающей конструкции. В таком случае можно поддерживать температуру теплоносителя равной температуре внутри ограждаемого помещения, а ограждающая конструкция становится активной.

Основная проблема в проектировании таких ограждающих конструкций заключается в отсутствии методики подбора шага расположения трубчатых нагревательных элементов внутри теплораспределяющего слоя. Задача имеет приближенное аналитическое решение, когда стенка представляется в виде одномерного ребра, имеющего тепловые потери с внешней стороны и изолированный торец (см. пример решения на рис. 1).

Представленное аналитическое решение имеет ряд недостатков, т.к. не учитывается неравномерность тепловых потерь по поверхности стены и неравномерность теплового поля, вызванные не только двухмерностью исходной задачи, но и наличием цилиндрического источника теплоты. В работе проводится численное моделирование теплопередачи в таком ограждении и сопоставление с аналитическим решением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. Пурдин М.С., Магомедова Р. Тепловые притоки и потери в грунтовых теплообменниках и аккумуляторах теплоты // Сб. тр. Межд. науч.-техн. конф. СПРЭТТ (XXII Бенардосовские чтения), Иваново, 2023 г. с. 234–236.
2. Пурдин М.С., Гаряев А.Б. Исследование тепловых характеристик твердого изолированного цилиндрического аккумулятора теплоты // Вестник ЮУГУ. Серия: Энергетика. 2023. — Т. 23, № 2. — С. 73–82.

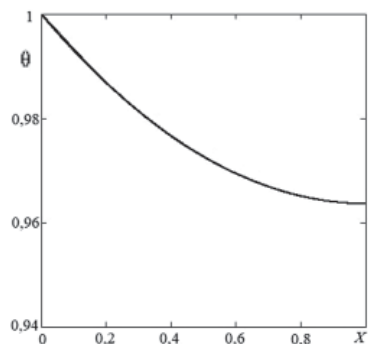


Рис. 1. Пример зависимости относительной температуры от координаты

А.В. Шаталов, асп.;
рук. М.Ю. Юркина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА СИСТЕМУ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Аккумулирующая способность ограждающих конструкций позволяет сократить затраты на отопление и охлаждение зданий. Это требует инноваций и инвестиций, но может быть экологически и экономически выгодным в долгосрочной перспективе [1].

Снижение затрат на теплотребление зданий путем использования аккумулирующей способности ограждающих конструкций может привести к следующим численным показателям:

1. Улучшение коэффициента теплопроводности: Замена традиционных материалов ограждающих конструкций на материалы с более высокими показателями теплоизоляции может привести к снижению коэффициента теплопроводности (λ) до 0,1 Вт/(м·К), что снижает потери тепла через ограждающие конструкции.
2. Увеличение теплосберегающих свойств: Улучшение теплоизоляции и добавление слоев теплоаккумулирующих материалов, таких как теплоемкие стены, может увеличить теплосберегающие свойства здания. Это может привести к сокращению затрат на отопление на 20–30%.
3. Снижение теплопотерь: Использование ограждающих конструкций с высокой аккумулирующей способностью позволяет снизить теплопотери через стены, крышу и окна. Это может привести к сокращению затрат на теплотребление на 15–20%.
4. Уменьшение потребления энергии: Благодаря лучшей теплоизоляции, аккумулирующие ограждающие конструкции способны уменьшить потребление энергии для обогрева и кондиционирования помещений на 10–15%.
5. Экономический эффект: Снижение затрат на теплотребление позволяет снизить операционные расходы здания. Ожидаемая экономия может составить от 10 до 30% в год, что может привести к значительным сокращениям в долгосрочной перспективе.

Литература

1. **Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С.** Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8(34).

*И.И. Светушков, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ им. В.И. Ленина, г. Иваново)*

МОНИТОРИНГ МИКРОКЛИМАТА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ТЭЦ

Мониторинг микроклимата выполнен с целью решения задачи энергосбережения на собственные нужды станции и выполнения требования СанПин [1, 2]. Проведены измерения основных (T , °C и W , %) и вспомогательных ($tVOC$, mg/m^3 и $PM_{2.5}$, mg/m^3) параметров микроклимата. На рисунке показаны результаты мониторинга температуры в рабочих зонах оперативного персонала за 2,5 года наблюдений. Анализ графика позволяет сделать вывод о грубом нарушении требуемого СанПин ($19 \div 20$ °C) температурного режима на рабочих местах оперативного персонала.

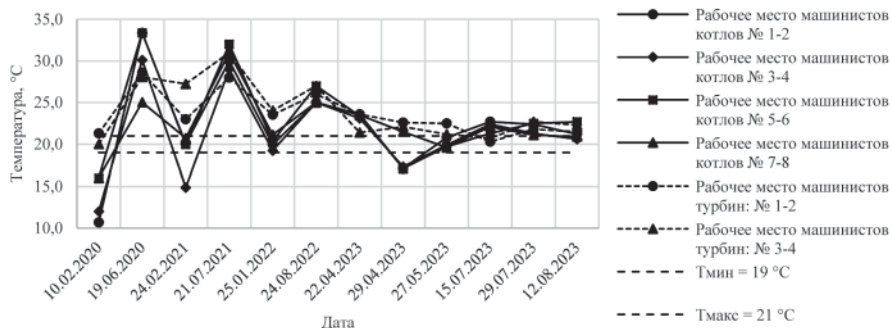


Рис. 1. Температура воздуха на рабочих местах оперативного персонала

По результатам мониторинга отклонение от нормы составляет до 100% по температуре и по влажности. Показатель концентрации микрочастиц РМ. 2.5 практически в два раза ниже предельно-допустимой границы. Показатель летучих органических соединений $tVOC$ превышает нормативные значения только на рабочем месте вблизи генератора турбины мощностью 65 МВт, охлаждаемого водородом. Результаты мониторинга микроклимата необходимы для расчета потенциала энергосбережения и для разработки оптимального микроклимата на рабочих местах оперативного персонала ТЭЦ.

Литература

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. — Москва. — 2021. — 452 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 Система безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Москва. — 1988. — 3 с.

Э.С. Волкова, студ.;
рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Длительность и качество работы космического аппарата зависит от функционирования его составных элементов. Перегрев установок является одной из главных причин выхода из строя [1]. Основными задачами на пути предотвращения возникновения неисправности в этом случае являются: интенсификация теплоотвода в космическое пространство, снижение массы и габаритов теплопередающих устройств, достижение стабильности работы и долговечности [2].

Актуальным решением этих проблем является применение тепловых труб в системе терморегулирования. Тепловая труба [3] представляет собой устройство для переноса теплоты при малом градиенте температуры, является наиболее совершенным устройством для передачи теплоты. Активное внедрение тепловых труб в разработку космических аппаратов как в России, так и за рубежом [4] говорит о перспективности этого направления для изучения.

Исследование температурных полей холодильника-излучателя позволит оценить его теплопередающие характеристики и провести сравнение эффективности теплопередающих устройств. В настоящей работе рассматриваются 3 способа теплоотвода: рёбра, оребрённая контурная тепловая труба с фазовым переходом и циркуляцией теплоносителя. Сравнение производится в зависимости от способа теплоотвода, свойств материалов, из которых изготовлены тепловые трубки и рёбра и температур теплоносителя. Проводилось моделирование процессов теплопроводности, теплоотдачи, излучения в космическое пространство и течения теплоносителя в трубе.

Литература

1. Обеспечение теплового режима радиоэлектронного оборудования космических аппаратов / Алексеев В.А., Малоземов В.В. // Учебное пособие. Изд-во МАИ, 2001.
2. Теплообмен в космосе / Цаплин С.В., Большев С.А., Романов А.Е. // Самара: Изд-во «Самарский университет», 2013.
3. Тепловые трубы / Дан П., Рей Д. // Пер. с англ. Ю.А. Зейгарника. — М.: — Энергия, 1979.
4. Опыт разработки и применения тепловых труб для космических аппаратов в научно-производственном объединении имени С.А. Лавочкина / К.А. Гончаров, В.В. Двирный // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического имени академика М.Ф. Решетнева, 2008.

А.А. Воробьев, М.М. Мордик, студенты;
рук. А.А. Лаврухин, к.ф.-м.н., доцент (НИЯУ МИФИ, Москва)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОАККУМУЛИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения является одной из важнейших задач, стоящих перед энергетикой.

Современный жилой многоквартирный дом (МКД) — это потребитель топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), основной вид потребляемого ТЭР — это тепло. Одним из способов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения МКД является внедрение мер по регулированию тепловой мощности с учетом накопленной теплоты здания.

Цель работы — моделирование нестационарного процесса охлаждения внутреннего воздуха и оценка влияния теплоаккумулирующей способности на темп остывания жилого здания.

Объект исследования — современный панельный многоквартирный дом.

На основании метода, предложенного Соколовым Е.Я. [1], и математического моделирования в цифровых программных средах, возможно спрогнозировать остывание внутреннего воздуха при изменении тепловой мощности системы отопления. В работе были рассмотрены рядовое и угловое помещение среднего этажа, а также аналогичные помещения последнего этажа. В результате расчета получились следующие значения коэффициентов тепловой аккумуляции для угловых и рядовых помещений: средний этаж — $\beta_{yt} = 137$ ч. и $\beta_p = 176$ ч., верхний этаж — $\beta_{yt} = 115$ ч. и $\beta_p = 141$ ч. Угловое помещение верхнего этажа имеет максимальные трансмиссионные потери, в связи с чем можно его рассматривать, как критический режим работы системы отопления. На рис. 1 представлены кривые остывания внутреннего воздуха для углового помещения верхнего этажа при температуре наружного воздуха -26°C .

В виду отсутствия резкого снижения температуры внутреннего воздуха возможно внедрение мероприятий по дополнительному регулированию тепловой нагрузки системы отопления МКД.

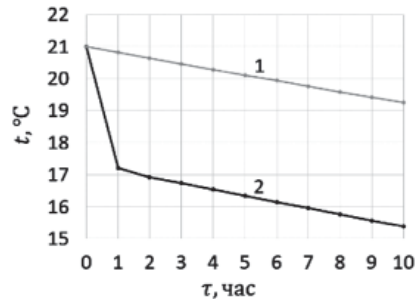


Рис. 1. Изменение температуры внутреннего воздуха (1 — расчетный метод Соколова Е.Я.; 2 — моделирование)

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов — 9-е изд., стереот. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 472 с.

*А.И. Кузьмин, студ.; М.С. Пурдин, к.т.н., доцент;
рук. Н.М. Савченкова к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХОЛОДИЛЬНИКА ИЗЛУЧАТЕЛЯ С КОНТУРНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Освоение космоса и космические исследования относятся к одному из основных направлений научно-технической революции в наше время. В настоящий момент ведется разработка ядерного буксира “Зевс”, для которого актуальна разработка систем обеспечения температурного режима (СОТР). Существуют методы регулирования температуры на борту жилых отсеков КА [1], а также систем обеспечения определенного теплового режима приборов КА [2].

В работе получен новый метод расчета излучательных радиаторов с тепловыми трубами СОТР для отвода необходимого количества тепловой мощности с малой областью неустойчивости. Тепловой баланс устройства сводится к нелинейному неоднородному дифференциальному уравнению второго порядка:

$$-Gc_p \frac{\partial T}{\partial x} + 2\lambda\delta h \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 4h\varepsilon\sigma T^4 - 4h\varepsilon\sigma T_{oc}^4 - 2hq_{п}, \quad (1)$$

где T — температура, К; T_{oc} — температура окружающей среды, К; G — расход теплоносителя, кг/с; c_p — теплоемкость теплоносителя, Дж/(кгК); x — координата вдоль коллектора, м; $q_{п}$ — плотность приобретаемого теплового потока, Вт/м²; ε — эффективная степень черноты между покрытием ребра и окружающей средой; λ — теплопроводность пластины, Вт/(м·К); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²К⁴).

Решение уравнения требует его разделения на две приближенные задачи, которые считаются последовательно итерационно. Первая задача об идеальном радиационном холодильнике с жидкостным коллектором позволяет получить приближенные координаты установки тепловых труб. Вторая задача о тепловых потерях с поверхности, охлаждаемой излучением, позволяет рассчитать распределение температур и тепловой мощности каждой ступени и всего излучателя в целом.

Литература

1. **Спирин А.И., Рулев Д.Н.**, ”Способ регулирования температуры воздуха на борту пилотируемого космического аппарата” // ПАО ”Ракетно-космическая корпорация ”Энергия” имени С.П. Королева, патент RU 2739649 С1, 2020.
2. **Горюнов А.В., Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Слободзян Н.С.**, ”Система обеспечения теплового режима приборов космических аппаратов” // ФГБОУ ВО ВГТУ ”ВОЕНМЕХ”, патент RU 184641 U1, 2018.

*В.Д. Подопригора, студ;
рук. А.Б. Горяев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ВЫРАБОТКЕ И ПОТРЕБЛЕНИИ АВИАЦИОННОГО КЕРОСИНА

Проблема экологии в последние годы становится все более и более насущной. Обществу необходимо постоянно анализировать вредоносность используемых технологий и веществ. Ключевым показателем для контроля уровня выбросов для окружающей среды является диоксид углерода. Кроме того, недостаточно только анализировать выбросы от уже готового оборудования или произведенного вещества, необходимо анализировать полный цикл производства по созданию рассматриваемого объекта.

В работе использовались различные подходы к оценке выбросов, основным был выбран расчетный. Таким образом, основная формула для оценки вредных выбросов была принята следующая:

$$E_{CO_2} = \sum_{j=1}^n (FC_{j,y} * EF_{CO_2,j,y} * OF_{j,y}), \quad (1)$$

где E_{CO_2} — выбросы CO_2 от стационарного сжигания топлива за период y , т.; $FC_{j,y}$ — расход топлива j за период y , т.; $EF_{CO_2,j,y}$ — коэффициент выбросов CO_2 от сжигания топлива j за период y , т $CO_2/ед.$; $OF_{j,y}$ — коэффициент окисления топлива j , доля; j — вид топлива; n — количество видов топлива, используемых за период y .

Следующим шагом стало разделение полного цикла на производственные этапы, чтобы на каждом можно было оценить выбросы CO_2 и затраты энергоресурсов. Исходя из химического состава ТС-1 (самого популярного авиационного топлива в РФ для гражданской авиации [1]), а также количества молекул углерода в 1 моле керосина было рассчитано, что при сжигании 1 тонны авиационного керосина в камере сгорания самолета выделяется около 165,2 кг углекислого газа в атмосферу, а требуемые затраты энергии составляют 50 МДж.

В результате выявлен общий объем выбросов диоксида углерода от производства анализируемого топлива, построена принципиальная схема этапности производства ТС-1 с указанием выбросов диоксида углерода и энергозатрат. Данное исследование проводится с целью дальнейшего сравнения углеродного следа от ископаемого и биологического авиационного топлива.

Литература

1. **Попов М. В.** Путь авиационного керосина до самолета // Молодой ученый. — 2021 — № 32 (374). — С. 9–10.
2. **Министерство природы РФ.** Приказ №371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».

*Д.В. Рязанцева, А.А. Пилипенко, студенты;
рук. В.С. Глазов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЁТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО РЕБРА

Задачей исследования являлось доказательство того, что традиционная формула для расчёта эффективности ребра подходит не для всех случаев:

$$\eta = \frac{th(\sqrt{Bi})}{\sqrt{Bi}}$$

Были проведены расчёты прямоугольного ребра с не теплоизолированной и теплоизолированной вершинами: варьировались параметры этого ребра, но при этом $S = \text{const}$. Расчёты показали, что у ребра с теплоизолированной вершиной есть определённая оптимальная высота, при которой тепловой поток имеет максимальное значение, а у ребра с не теплоизолированной вершиной есть два значения высоты, при которых поток может иметь минимальное и максимальное значения.

Для различных значений были построены графики зависимостей теплового потока Q (Вт) и эффективности ребра η от его высоты H (м), по которым можно сделать следующие выводы: для ребра с теплоизолированной вершиной высокому значению η соответствует максимальное значение Q ; для ребра с не теплоизолированной вершиной существуют два экстремума: минимум и максимум. Более того, существует диапазон малых высот для прямоугольных ребер, которым соответствуют потоки, превышающие значение второго экстремума (максимума), и которым соответствуют высокие значения КПД. Поскольку данный факт не наблюдается для прямоугольных ребер с теплоизолированной вершиной приходим к выводу о том, что традиционный способ определения эффективности прямоугольного ребра нельзя применять к таким ребрам.

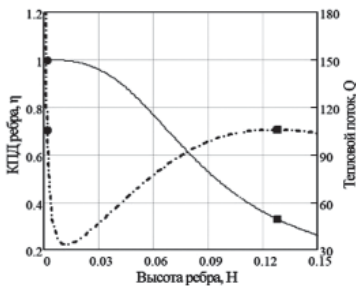


Рис. 1. Влияние H ребра с не теплоизолированной вершиной на Q и η при $S = \text{const}$

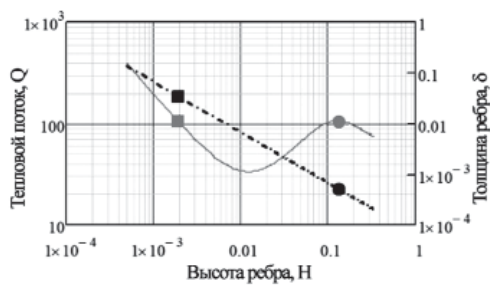


Рис. 2. Зависимости потока и толщины прямоугольного ребра с не теплоизолированной вершиной от его H при $S = \text{const}$

Д.В. Рязанцева, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОПОСТАВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТЛИЧИЯ РЕАЛЬНЫХ И ИДЕАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКЕ

В теплонасосных установках электрическая энергия превращается в тепловую с определённым коэффициентом трансформации: чем выше его значение, тем больше эффективность установки.

Были проведены расчёты идеальных и реальных значений коэффициента трансформации теплоты для озонобезопасного хладагента R410A, являющегося азеотропной смесью, состоящей из 50% R32 и 50% K125 при изменяющихся температурах испарения t_0 от -20°C до -8°C и температурах конденсации t_k от 35°C до 60°C . Сравнения двух коэффициентов проводились для теплового насоса «воздух-вода» De Dietrich HPI-S 16 MR-2. Данные для реальных значений были взяты из технических характеристик этого насоса.

Расчёты показали, что идеальные значения превышают реальные: при минимальной разнице температур испарения и конденсации идеальные значения больше реальных в 1,26 раза, при максимальной разнице — в 1,24 раза.

С нашей точки зрения, одной из причин является то, что при прокачке по тракту ТНУ появляются потери давлений, которые приводят к тому, что реальная разница температур испарителя и конденсатора увеличивается, поэтому коэффициент трансформации теплоты падает. Также, одним из наших предположений является то, что уменьшается значение коэффициента полезного действия компрессора при меньшей разнице температур.

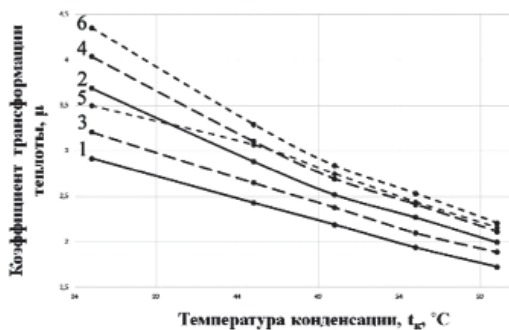


Рис. 1. График зависимости реальных и идеальных значений коэффициента трансформации теплоты от температур конденсации и испарения для хладагента R410A: 1,2 – $t_0 = -20^\circ\text{C}$; 3,4 – $t_0 = -17^\circ\text{C}$; 4,5 – $t_0 = -8^\circ\text{C}$

И.А. Степанов, асп.;
рук. В.С. Глазов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМЫЙ КОМФОРТ В ЗДАНИЯХ МЕГАПОЛИСА

В данной работе говорится о факторах и необходимости учета их пространственно-временной дискретности, которая определяет расчетные параметры наружного климата, влияющие на выбор систем вентиляции и кондиционирования, обеспечивающих требуемые условия комфорта в зданиях и сооружениях мегаполиса в различные периоды года.

В последние годы наблюдается потепление климата, что отражается в повышении температуры наружного воздуха. Наибольшее отклонение температура воздуха от данных приведенных в старых нормативных документах (лет 10–15 назад) относится к зимнему периоду. Кроме того, тепловые выбросы промышленных предприятий, транспорта и других видов хозяйственной деятельности, а также местный «парниковый эффект» приводят к возникновению «острова тепла», при котором температура воздуха в центральной части мегаполиса на 3–8 °С выше, чем на его окраинах. Более того, меняется роза ветров по отношению к форме площади мегаполиса, вызванная его расширением. Для Москвы это юго-западное направление.



Рис. 1. Москва до расширения



Рис. 2. Расширенная Москва

Поэтому рекомендуется использовать именно фактические параметры при выборе систем вентиляции и кондиционирования, а также в выборе наружных ограждений. Нужно учитывать температуру и направление ветра, так как в разных частях Москвы температура может отличаться на 2–4 °С. Изменение расчетной температуры воздуха может повлиять на сопротивление теплопередачи наружных ограждений (непрозрачных и окнах), на длительность отопительного периода, на нижнюю границу величины сопротивлению теплопередачи. Следует разделить Москву на участки, в пределах которых принимаемое в них значение температуры не будет отличаться более чем на 1 °С. Эта мера позволит сделать выбор в пользу актуальной на сегодняшний день и на ближайшую перспективу системы, способной обеспечить максимальный комфорт в рамках разумного бюджета.

Секция 38

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Industrial heat power engineering systems

Председатель секции: к.т.н., доцент Яворовский Юрий Викторович

Секретарь секции: к.т.н. Жигулина Екатерина Валериевна

*А.А. Кардаков, асп.; рук-ли Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.,
И.А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОМ АГРЕГАТЕ, РАБОТАЮЩЕМ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

Расширительные машины, в которых осуществляется обратный процессу сжатия — расширение газа, являются машинами — двигателями. В машина-двигателях работа перепада давлений преобразуется в механическую энергию, которая отводится потребителю и может быть преобразована в электрическую, газ при этом охлаждается. Двигатели различных типов являются основой энергетики страны [1].

В западных странах Европы получили определенное распространение детандер-генераторные агрегаты (ДГА). В них используется перепад давления ПГ, поступающего на энергетический или промышленный объект, который ранее терялся в дроссельных устройствах газораспределительного пункта [2]. Главной задачей данного исследования являлась разработка и моделирование детандер-генератора, а также моделирование процессов, протекающих в агрегате.

В процессе выполнения данной работы разработана технологическая схема агрегата и описан его принцип работы. Систематизированы информативные текстовые записи, построены графики зависимостей температуры природного газа и давления.

Получены распределения скоростей, давления, температуры во всем объеме расчетной области, которые позволяют исследовать течение рабочего тела, определить интенсивность уменьшения давления при прохождении газа через проточную часть детандера.

Литература

1. **Епифанова В.И.** Компрессорные и расширительные машины радиального типа // Учеб. пособие. — М.: Издательство «Машиностроение», 1984. — 374 с.
2. **Куличихин В.В., Тюняев М.В.** Детандер-генераторные агрегаты в энергетике России. Мифы и реальность // Надежность и безопасность энергетики. 2016. С. 62–69.

В.Д. Битней, студ.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СЫРОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ

Целью выполненной работы являлось повышение надежности работы ПСВ, снижение его массогабаритных характеристик, сокращение или полное исключение обслуживания при эксплуатации, в результате чего увеличивается экономическая эффективность использования данного оборудования, что является актуальной задачей для отрасли теплоэнергетики. Для выполнения поставленной цели были проведены следующие работы:

- выполнен аналитический обзор информационных источников и на его основе проведена сравнительная оценка характеристик существующих конструкций теплообменных аппаратов — кожухотрубных и пластинчатых, используемых в качестве ПСВ;
- выполнен аналитический обзор информационных источников, содержащих сведения о конструкции и опыту эксплуатации теплообменных аппаратов радиально-спирального типа, а также проведена сравнительная оценка характеристик конструкций этого типа с традиционно применяемыми;
- изготовлен ПСВ радиально-спирального типа с фильтром непрерывного действия для очистки сырой воды перед подачей в ПСВ (рис. 1).

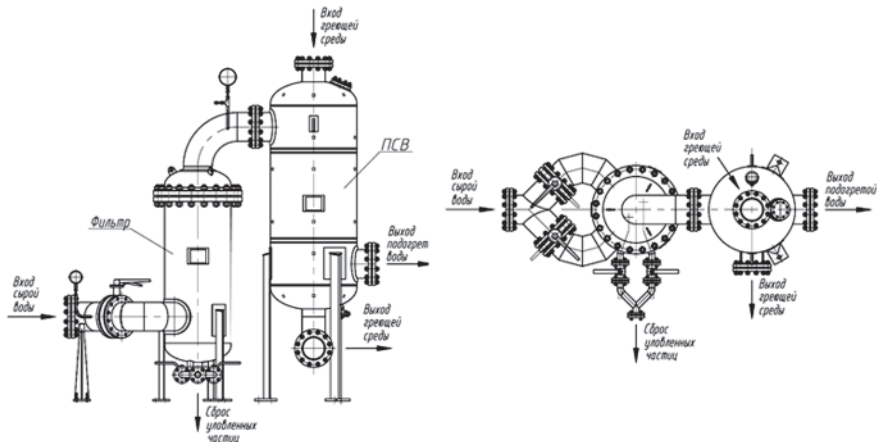


Рис. 1. Схема компоновки ПСВ радиально-спирального типа с фильтром непрерывного действия для очистки сырой воды от механических примесей

А.В. Логинов, студ.; рук. Н.А. Логинова, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Современные условия, в частности, недавняя пандемия COVID-19, диктуют необходимость совершенствования систем вентиляции медицинских учреждений. Сегодня наиболее часто в вентиляционных системах медучреждений используют HEPA-фильтры и трехкратную систему фильтрации, состоящую из фильтров типа EU3, EU5, EU7. Использование данных способов очистки эффективно, но для оптимизации систем целесообразно использовать новые решения, основанные на способах дезинфекции систем, например, аэрозольным методом [1]. Кроме того, к ряду помещений, в том числе, к так называемым чистым, применяются особые нормы по поддержанию чистоты и дополнительной фильтрации воздуха [2].

Проведённый анализ свидетельствует о перспективности использования в чистых помещениях, например, в операционных, специального воздухораспределительное оборудование — «ламинарный потолок» [3], однако его недостатком является большой расход воздуха, что в свою очередь ведет к увеличению сечения воздуховодов и является проблемой для конструктивных и архитектурных решений. Для решения этой проблемы впервые разработаны и проанализированы схемные решения установки колонны рециркуляции, предназначенной для подачи воздуха в ламинарный потолок. Рассмотрены случаи, когда объем приточного воздуха не позволяет формировать и поддерживать ламинарный поток, а также, если механическая вентиляция отсутствует или временно не работает. Стоит упомянуть, что в помещениях лечебных учреждений частичная рециркуляция воздуха разрешена в соответствии с нормами [4]. Проведённые расчеты показали, что применение колонн рециркуляции позволяет снизить расход воздуха на 40–60%.

Литература

1. **Патент RU2625748C1, 2017.07.18.** «Способ дезинфекции систем вентиляции путем аэрозольной обработки внутренней поверхности вентиляционных каналов».
2. **СП 158.13330.2014** «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» (Приказ Минстроя России от 18 февраля 2014 г. № 58/пр).
3. Ссылка на web-страницу: <https://airlife.ru/catalog/medicine/local-areas>.
4. **«СП 118.13330.2012*.** Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009» (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10) (ред. от 17.09.2019).

*Д.К. Еремин, В.А. Варигина, Н.А. Татарникова, студенты;
рук. А.В. Рыженков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕГИОНАХ СО СЛОЖНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

Развитие возобновляемых источников энергии открывает широкий простор для их применения и снижения стоимости единицы энергии. На больших территориях России производство энергоресурсов расположено неоднородно и не во всех регионах есть полный доступ к ним. Значительное число поселений Восточной Сибири, где энергоснабжение основано на использовании дизельных электрогенераторов, часто имеет нерегулярный завоз топлива из-за сложных условий северного климата. Ситуация осложняется тем, что уголь и дизельное горючее доставляются в регион морем, так как большая часть населенных пунктов не связана с «Большой землей».

В удаленных заснеженных частях России, где нет постоянного доступа к энергоресурсам, фотоэлектрические модули и ветрогенераторы находят применение в качестве альтернативного источника энергии [1]. Для повышения качества жизни жителей таких поселков авторами был проведен анализ уже существующих гелиоколлекторов и ветроэнергетических установок и выделены особенности их эксплуатации в суровых климатических условиях, а также проведены расчеты всей энергосистемы населенного пункта, сравнение ее с ископаемыми энергоресурсами и экономическое обоснование предпочтительности выбора таких систем [2].

По предварительным оценкам применение фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов в удаленных населенных пунктах позволяет уменьшить затраты топлива не менее, чем на 20%, а их установка имеет краткие сроки окупаемости за счет уменьшения количества сжигаемого органического топлива и затрат на его доставку до потребителя [3].

Литература

1. **Rahmatmand A.** An experimental investigation of snow removal from photovoltaic solar panels by electrical heating//Solar Energy 171. 2018. — с. 811–856.
2. **Borrebæk A.** Avoiding snow and ice accretion on building integrated photovoltaics — challenges, strategies, and opportunities//Solar Energy Materials & Solar Cells. 2020.
3. **Andenæs E.** The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells // Solar Energy 159. 2018. — с. 318–328.

М.Д. Фомичев, асп.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

УЛУЧШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Совершенствование систем оборотного охлаждения [1] является важным направлением для энергосбережения и эффективного использования ресурсов на тепловых и атомных электростанциях. Особое внимание уделяется ограниченности маломинерализованных водных источников. При расчете данных систем необходимо учесть множество факторов, влияющих на их работу. Противоточный смешанный режим течения теплоносителей поднимает вопрос о выборе программного обеспечения для расчета данных систем. Существующие программные комплексы не всегда достаточно точно решают сложные задачи, связанные с фазовым переходом теплоносителей. Для этих задач целесообразно использовать комбинированные матричные модели [2] и программные пакеты CFD (Computational Fluid Dynamic) [3], которые объединяют в себе преимущества обоих подходов для расчета. В данной статье представлена комбинированная модель, основанная на многомерном расчете градирни в программном пакете ANSYS FLUENT и расчете фазового перехода по матричной модели. Целью исследования является повышение эффективности градирни на основе представленной комбинированной модели. Алгоритм расчета включает построение имитационной модели градирни, определение тепловой нагрузки и охлаждающей способности градирни, проверку сходимости по тепловой нагрузке и вывод результатов расчета. Построение сеточной модели в программе Ansys Fluent осуществляется путем разбиения расчетной области на конечное количество малых элементов, называемых ячейками или элементами сетки. Для моделирования градирни используются тетраэдральные и гексаэдральные элементы. Размер ячейки порядка 4 м позволяет получить подробную информацию о динамике течения и теплообмене в градирне. Общее количество элементов в модели составляет 10580, что обеспечивает достаточную точность расчета.

Литература

1. **А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, Е.А. Лаптева** Математические модели и методы расчетов теплообменных и сепарационных процессов в двухфазных средах. — Казань: ТНТ: 2021. — 288 с.
2. Моделирование и расчет процесса теплообмена в башенных градирнях систем оборотного охлаждения ТЭС И АЭС / В.П. Жуков. и др. // Вестник ИГЭУ. — 2022. — № 3. — С. 57–63.
3. FLUENT Incorporated, FLUENT Users Guide Re-lease 12, Lebanon, New Hampshire, USA, 2009.

А.Г. Звончевский, асп.;
рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В работе рассматривается одна из наиболее энергоемких отраслей химической промышленности, анализируются показатели топливо-, электро- и теплотребления основных и вспомогательных технологий производства сложных и комплексных минеральных удобрений с учетом внутрисистемного распределения потоков сырьевой продукции на выпуск одной тонны целевого продукта.

На этапе первичного анализа исследовались показатели энергопотребления отдельных технологий отрасли производства минеральных удобрений (моноаммонийфосфата, диааммонийфосфата, аммофоса, сульфата калия, сульфоаммофоски и др.) на выпуск одной тонны готового продукта [1]. Первичный анализ показал, что для того, чтобы охарактеризовать и дать более корректную оценку той или иной технологии с точки зрения энергоемкости, необходимо также учитывать затраты ТЭР (топливо, тепловая и электрическая энергия) на производство сырьевых компонентов, используемых в процессе получения целевой продукции.

На основе расчетной модели, учитывающей затраты ТЭР на выработку сырьевой продукции, получены показатели энергоемкости технологий производства минеральных удобрений на выпуск одной тонны готового продукта. Так, среди рассматриваемых технологий, наиболее энергоемкими являются технологии производства карбамида, аммиака и аммофоски NPK 16:16:16 с показателями соответственно 2,626 т.у.т/т, 1,369 т.у.т/т и 1,203 т.у.т/т. При этом, на долю вспомогательных технологий при выпуске карбамида отводится до 88% суммарной энергоемкости, на выпуск NPK 16:16:16 до 85%, а на выпуск аммиака до 5%.

Учитывая тенденции к увеличению спроса на продукцию, развития отрасли производства минеральных удобрений необходимо исследовать способы, направленные рационализацию потребления ТЭР преимущественно за счет модернизации производств на основе ВЭР технологий.

Литература

1. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ИТС 2-2022. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. — 2-е изд. — М.: Бюро НДТ, 2022: 849 с.

*В.Ю. Чайкин, Ц. Цэрэндорж, аспиранты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ ДОМЕ

Применение солнечных панелей в системе энергоснабжения дома — это простой способ повышения энергетической эффективности здания, который имеет множество особенностей. Исследование применения солнечных электростанций в частном строительстве в нашей стране является важной темой. Результаты научных работ на эту тему смогут выявить наиболее эффективные технологии для энергосбережения.

В данной работе рассматривается энергосистема энергоэффективного дома в Пушкинском районе Подмосковья. При проектировании здания его крыша изначально рассчитывалась под использование солнечных панелей. Для исследований был проведен подбор и монтаж солнечных панелей 4 различных типов. Используемые панели фирмы DELTA рассчитаны на различные мощности, представленные на рис 1. Перед их установкой проведены расчеты в программах PV*SOL и PVsyst. По результатам моделирования окупаемость солнечной электростанции на базе энергоэффективного дома составила 11 лет.

Проведенные экскременты позволили не только подтвердить окупаемость, но и определить наиболее эффективный тип солнечных панелей. Результаты приведены ниже на рисунке 1. Как видно по этим данным наиболее эффективными (в среднем на 7%) оказались панели на 320 Вт. Различие между двумя версиями этой батареи (BST-320(1) и (2)) связано с ограничениями выработки на инверторе.

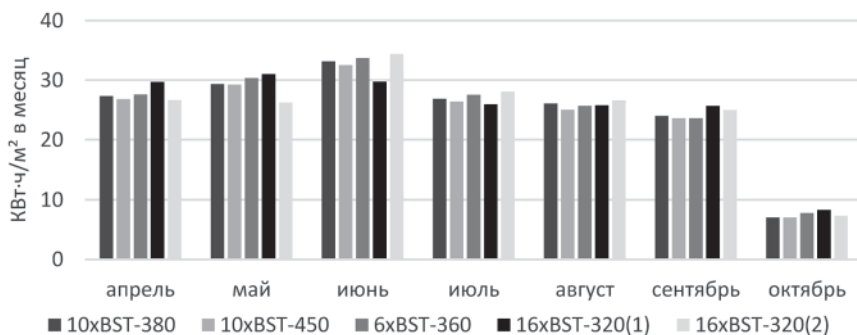


Рис. 1. Сравнение эффективностей панелей

Использование солнечной энергетики позволило достигнуть нулевого углеродного следа. Это связано с тем, что по результатам наблюдения было обнаружено, что дом выработал больше энергии за год, чем потратил. Этот результат подтверждает эффективность использования солнечных панелей в московском регионе.

*Н.В. Невежина, студ.;
рук. И.М.Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ИСТОЧНИКАМИ ВЫБРОСОВ ТЭЦ

Работа посвящена обучению искусственной нейронной сети на основе данных вычислительных экспериментов для прогнозирования максимальной концентрации загрязняющего вещества в зависимости от расстояния от источника выброса, от его высоты и от температуры атмосферного воздуха.

Данные мониторинга загрязнения воздушного бассейна города характеризуются многомерностью и наличием множества связей между экологическими параметрами. Процессу загрязнения атмосферного воздуха присущи нелинейность и неопределенность, что затрудняет оценку и прогнозирование оператором экологической ситуации.

Для повышения оперативности и точности принятия верных управленческих решений в последнее время все чаще используются искусственные нейронные сети, способные работать в условиях нечеткой исходной информации и учитывать скрытые зависимости [1].

Для создания нейронной сети необходимо подготовить выборку исходных данных. В данной работе необходимо провести систематизация имеющихся материалов по прогнозированию уровня загрязнения атмосферного воздуха постоянно действующими источниками выбросов загрязняющих веществ. Для этого будет производиться расчет концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ. Основными компонентами выбросов ТЭЦ являются углекислый газ и водяной пар, которые образуются при сжигании органического топлива. Однако, помимо этого, в выбросах содержатся различные пылевые частицы, оксиды серы и азота, фтористые соединения, оксиды металлов, а также газообразные продукты неполного сгорания топлива [2].

Полученные результаты могут использоваться при составлении рекомендаций для ТЭЦ по снижению негативного эффекта источников выбросов.

Литература

1. **Ходакова Ж.Г., Савицкая Т.В.** Разработка нейросетевой модели выбросов с предприятия // ТВТ. 2023. Т. 35. № 5.
2. **Бобылева Т.А., Хрипунова А.С.** Исследование проблемных вопросов газификации России и способов их решения // Вестник университета, 2016, № 7–8, с. 12–18.

*И.А. Буданов, П.С. Рыбкина, студенты;
рук-ли В.М. Захаров, к.т.н.;
Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ

Центробежные нагнетатели — незаменимая составляющая систем водоснабжения, отопления и многих других. Выбор нагнетателя, позволяющего поддерживать нужный напор и расход рабочего тела является крайне важной задачей. Характеристики насоса должны суметь обеспечить необходимый расход даже в моменты пикового потребления, но часто бывает так, что потребление падает и мощность насоса оказывается чрезмерной, впустую расходуя электроэнергию, так как поддержание столь высокого расхода уже не нужно.

Для оценки целесообразности использования частотного регулирования необходимо знать динамику изменения нагрузки сети за определенный срок, обычно этот срок берут равным 1 году. Чтобы рассчитать экономию за год необходимо знать характер изменения потребления в сети в течение суток, так как зачастую, дневной расход значительно превосходит ночной.

В данном исследовании выполнены моделирование работы нагнетателя и расчёт экономического эффекта при использовании частотно-регулируемого привода для насоса ГВС марки ТР 80-250/2 по методике, представленной в [1].

Проведенные расчеты показывают экономическую эффективность применения как регулирования характеристик центробежного нагнетателя в целом, так и частотного регулирования в частности, а срок окупаемости частотно регулируемого привода для насоса ГВС марки ТР 80-250/2 составил 4.75 года, что доказывает экономическую целесообразность применения устройства.

Литература

1. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода, М.: МЭИ, 1997 г.

Е.В. Улинская, студ.;
рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ТЭЦ В Г. УЛЬЯНОВСКЕ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМОМ ТОПЛИВЕ — СВАЛОЧНОМ БИОГАЗЕ

В настоящее время в России остро стоит вопрос охраны окружающей среды. Возникновение экологических проблем связано с постоянно растущим количеством свалок и полигонов, выделением в атмосферу парниковых газов, таких как метан. В свою очередь существует нехватка энергоресурсов. Решение этих проблем — использование вторичных энергоресурсов.

Ко вторичным энергоресурсам, в первую очередь, относят отходы агропромышленного и бытового характера. Существует два основных способа выработки электроэнергии из твердых коммунальных отходов. Один из них — это использование мусора в качестве топлива, в результате сгорания которого образуется энергия. Второй — использование метана или биогаза, образующегося над большим скоплением мусора при разложении отходов анаэробными организмами, в ГТУ или в других установках выработки энергии.

Утилизация биогаза позволяет значительно снизить, а в некоторых случаях и полностью исключить загрязнение окружающей среды метаном.

Основные методы утилизации биогаза — сжигание в качестве среднекалорийного топлива в существующих промышленных котлоагрегатах и выработка электроэнергии [1].

Рассматривается возможность использования биогаза для теплоснабжения города Ульяновска. Исследуются различные технологии производства биогаза, его свойства и преимущества перед другими видами топлива. Анализируется возможность применения биогаза в существующих системах теплоснабжения.

Для этого выполнен расчёт эмиссии биогаза. Проведена оценка эффективности использования биогаза и рассчитан процесс горения биогаза. В качестве примера рассмотрена ТЭЦ-1 в городе Ульяновске.

Литература

1. **Вайсман Я.И.** Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: Монография, 2012 г.

Е.А. Парнова, студ.;
рук. Н.А. Логинова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ТРОИЦКА

Работа посвящена анализу способов повышения эффективности тепловой сети очистных сооружений города Троицка.

Была выявлена проблема, связанная с деградацией изоляции. Она связана с низким качеством теплоизолирующего материала и высокой влажностью почвы. По этой причине исследовались методы и технологии оптимизации тепловой изоляции в тепловых сетях. Проведён анализ современных материалов для тепловой изоляции, их теплопроводности и долговечности, а также методов мониторинга состояния изоляции, выявлены наиболее перспективные [1].

В ходе работы осуществлялось изучение методик расчета расходов теплосетевой воды для покрытия нагрузки горячего водоснабжения при использовании двухступенчатой схемы ГВС [2, 3, 4]. Выполненные аналитические расчёты для различных режимов работы тепловых пунктов показывают, что расходы завышены в среднем на 14% (при использовании принятых коэффициентов). Сравнение проводилось с данными, полученными от ПАО «МОЭК». Рассматривалась почасовая статистика потребления теплоты на нужды горячего водоснабжения в будние и выходные дни.

Подобное завышение приводит к повышенной металлоёмкости тепловых сетей, а значит их удорожанию, поскольку существующие требования к гидравлическим потерям на погонный метр требуют увеличенных диаметров [4]. Результаты расчётов свидетельствуют о целесообразности разработки альтернативной методики.

Литература

1. **Моисеев, Е.Ю.** Мониторинг состояния тепловых сетей: обзор перспективных средств и методов / Е.Ю. Моисеев // Системный анализ в науке и образовании. — 2014. — № 2. — С. 23–29. — EDN TLFABD.
2. **Н.М. Зингер.** Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. — с. 320.
3. **Соколов, Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. — М.: МЭИ, 2001. — с. 472.
4. **СП 510.1325800.2022** Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения от 25.01.2022 // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.
5. **СП 124.13330.2012** Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.

*Н.Л. Бударин, асп.; рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц.;
В.Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА НА РАБОТУ ГУБТ

Доменный газ — один из крупнейших вторичных энергетических ресурсов на предприятиях чёрной металлургии. Потенциальная энергия газа наиболее эффективно может быть использована в специальных газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ) для выработки электроэнергии, где сжатый доменный газ служит рабочим телом. Для обеспечения надежной работы турбины газ должен быть очищен до содержания пыли 5–7 мг/нм³, что может быть достигнуто в системе мокрой очистки.

На современных металлургических предприятиях доменный газ с температурой 200–300 °С под колошником и запыленностью 10–20 г/нм³ проходит несколько ступеней мокрой очистки, включающей в себя охладительный скруббер и трубы Вентури, в которых доменный газ охлаждается до расчётной температуры 40 °С. В состав данных схем входит водооборотный цикл со сложным шламовым хозяйством, при этом расход охлаждающей воды очень большой и составляет 5–7 кг воды на кг сухого газа [1].

Как показали расчёты, требуемая степень очистки может быть достигнута в схеме, состоящей из сухих пылеуловителей [2]. Данная схема также предполагает установку скруббера перед турбиной, в котором доменный газ испарительно охлаждался бы до температур, не превышающих допустимые значения для газопроводов (70°С), но со значительно меньшим расходом охлаждающей воды по сравнению со схемой мокрой очистки. При этом охлаждённый доменный газ в процессе расширения в турбине переходил бы из влажного состояния в насыщенное и далее расширялся бы с конденсацией паров воды.

В данной работе был проведен сравнительный анализ мокрой и сухой схем очистки. Были определены основные термодинамические характеристики, удельные расходы условного и натурального топлива, значения полезной электрической мощности ГУБТ в каждой из рассмотренных схем. В ходе термодинамического анализа были определены потоки энергии и эксергии и составлен эксергетический баланс различных схем газоочисток.

Литература

1. **Сазанов Б.В.** Доменные газотурбинные установки / Б.В. Сазанов; — Москва: Изд-во Металлургия, 1965. — 263 с.
2. **Бударин Н.Л., Хромченков В.Г., Жигулина Е.В.** Анализ эффективности сухой очистки доменного газа перед его использованием в газовой утилизационной бескомпрессорной турбине / Промышленная энергетика. 2022. № 7. С. 18–25.

А.В. Шишкин, асп.;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ПОДДЕРЖИВАТЬ ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА В ЗДАНИЯХ

В настоящее время наметилась явная тенденция к усложнению процессов проектирования при строительстве современных зданий. В первую очередь, это связано с увеличением высотности зданий, улучшением эстетики их архитектурных обликов — чаще всего выраженное в создании нетривиального многообразия геометрических форм фасадов и архитектурно-планировочных решений. Как правило, это приводит к возникновению существенных технических ограничений при проектировании инженерных систем возводимых сооружений. Кроме того, растут требования к тепловому комфорту, параметрам микроклимата внутреннего воздуха в помещениях, оказывающих непосредственное влияние на здоровье, работоспособность и комфорт находящихся в них людей. Очень важными являются и особенности энергоснабжения современных зданий. Главными характеристиками таких потребителей являются: высокая плотность тепловых и электрических нагрузок, высокие пиковые значения потребляемой мощности, флуктуационный характер значений энергопотребления в течение дня, повышенные требования к надежности и безотказности работы систем энергообеспечения.

Обозначенные аспекты говорят о необходимости применения современных подходов к проектированию и строительству современных зданий. В данной работе рассматривается проблема обоснованного выбора наилучшего варианта высокоэффективной тепломеханической системы для создания и поддержания параметров микроклимата внутреннего воздуха в узком диапазоне высокого уровня комфорта. В качестве одной из наиболее перспективных систем такого типа может рассматриваться лучистая капиллярная климатическая система. В работе были выявлены основные преимущества применения капиллярных климатических систем в качестве основного климатического оборудования для нагрева и охлаждения помещений, выполнено сравнение с традиционным оборудованием систем отопления и сплит-системой. Анализ проведен с использованием численного моделирования процессов теплообмена в помещении, оборудованном либо капиллярными климатическими системами, либо традиционными системами отопления и кондиционирования.

А.Ю. Жигулин, асп.; рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Природный газ является основным топливом для большинства тепловых электрических станций (ТЭС) на европейской части России. В качестве резервного топлива обычно применяется мазут, использование которого имеет ряд недостатков. Содержание мазутного хозяйства весьма затратно прежде всего из-за необходимости постоянного подогрева мазута и организации его циркуляции и отчистки круглогодично. При работе на мазуте снижается КПД котельных установок (на 4–8% по сравнению с их КПД при работе на природном газе), требуются повышенные температуры дымовых газов за котлом, для снижения их коррозионной активности; возникают отложения продуктов горения на поверхностях теплообмена котельного агрегата и др.

Целью данной работы является расчетное исследование схемных решений производства, накопления, хранения и использования в качестве резервного топлива сжиженного природного газа, выделенного из потока природного газа, поступившего на источник теплоснабжения. В работе представлены оригинальные схемы реконструкции существующих топливных хозяйств газоиспользующих ТЭС, позволяющие создавать, хранить и использовать необходимое количество нового вида резервного топлива — сжиженного природного газа. Эти схемы связаны непосредственно с системой подготовки, поступающего на ТЭС, природного газа, где вместо его дросселирования предлагается снижать давление в детандер-генераторных агрегатах. Такое техническое решение позволяет производить дополнительную электроэнергию и глубоко охлаждать газ.

В ряде работ авторами были представлены результаты моделирования процесса расширения природного газа двух составов с различным содержанием высококипящих фракций в программном комплексе ASPEN PLUS, которые подтвердили работоспособность предложенных схемных решений. Проведены исследования зависимостей выхода конденсата и выработки электроэнергии от начальных параметров потока и от состава природного газа. Расчеты показали, что выбор конкретного схемного решения зависит, в первую очередь, от состава природного газа. Выбор типа и технических параметров хранилища зависит от компонентного состава получаемого газового конденсата, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на стоимость всего проекта.

А.М. Курбатов, студ.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СУХОГО ОТБЕНЗИНЕННОГО ГАЗА ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ

В связи с высокими темпами добычи нефти во многих странах мира, проблема утилизации и использования попутного нефтяного газа на данный момент остаётся крайне актуальной задачей. В процессе внедрения решений по переработке нефтяного газа был выведен такой побочный продукт как сухой отбензиненный газ (СОГ). Существует множество вариантов применения СОГ в промышленности, однако возможности его эффективного использования рассматриваются в основном с точки зрения получения тепловой энергии, например, в [1] рассматривается вариант применения СОГ в трубчатой печи ПБ-20, с дальнейшим вариантом модернизации для решения ряда проблем эффективности и автоматизации. Однако по-прежнему остаётся ряд вопросов о потенциальных объектах-потребителях газоперерабатывающей промышленности, об оценке энергоэффективности сухих отбензиненных газов в сравнении с другими побочными продуктами переработки попутных нефтяных газов, о возможности эффективной выработки электроэнергии при использовании СОГ, о способах эффективной и целесообразной транспортировки до мест потребления, а также об экономической целесообразности проведения мероприятий по введению систем использования СОГ.

В ходе работы было выполнено сравнение способов использования сухих отбензиненных газов для производственных и энергетических нужд малых газоперерабатывающих заводов. Проведён сравнительный анализ вариантов применения сухих отбензиненных газов для выработки тепло- и электроэнергии, транспортировки для дальнейшей продажи и факельного сжигания. На основе сравнения были определены приоритетные направления модернизации малых газоперерабатывающих заводов с учетом следующих критериев: объём выработки, период окупаемости, удалённость потребителей и экологические нормативы.

Литература

1. **Дехтярев Е.Д.** Разработка новой системы сжигания сухого отбензиненного газа для трубчатой печи ПБ-20 установки подготовки нефти // Сборник материалов XVII международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 126–130.

О.А. Чехранова, асп; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОМУЗЛОВ И КОМПЛЕКСОВ

Несмотря на прогресс России в повышении энергоэффективности, страна все еще относится к группе с высоким показателем энергоемкости. Потенциал развития и роста в России широкий. Основную долю потребления первичных ресурсов занимает промышленность. Наибольшее потребление угля приходится на черную металлургию около 36 млн т.т., а самый крупный промышленный потребитель электрической энергии – цветная металлургия. Но при этом у промышленности сохраняются большие резервы. Резервы объективации «углеродного следа» промышленного производства РФ связаны не с ростом мощности или выработки энергии на ВИЭ (до 1,5% на конец 2020 г.), а с более точным расчетом полной энергоемкости производства и учетом фактической поглотительной способности зеленых насаждений и биоты.

С 2015 года в России осуществляется переход на наилучшие доступные технологии (НДТ). НДТ представляет собой технологию производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения [1]. Существуют отраслевые и межотраслевые справочники, они выступают инструментом для реализации использования резервов с целью сокращения «углеродного следа». Концепция достижения энергоэффективности предусматривает структурные преобразования в промышленном комплексе.

В работе разработаны методы совершенствования промышленных и коммунальных теплоэнергетических систем основываясь на принципах НДТ. А также представлен обзор энергоэффективных мероприятий для снижения энергоемкости промышленности по отраслям. К примеру, выработка вторичных энергоресурсов в промышленности по статистическим данным, оценивается в 18-19 млн. т.т., часть из них используется непосредственно в технологических процессах (аммиак, производство азотной кислоты и др.), часть реализуется на самих предприятиях, часть направляется для теплоснабжения поселений.

Литература

1. Федеральное агенство по техническому регулированию и методологии [электронный ресурс] URL: <http://www.standard.gost.ru> (Дата обращения 30.10.2023).

*А.Г. Рассадкин, асп.; науч. конс. В.С. Пузаков, к.т.н.,
ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЙ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Сегодня разработка (актуализация) схем теплоснабжения регламентирована требованиями федерального законодательства [1, 2].

По оценке Минстрой России, сделанной в 2014 г., из 20,7 тыс. муниципальных образований (МО) в России в 11,6 тыс. МО необходимо было разрабатывать и утверждать схемы теплоснабжения, где имеются централизованные системы теплоснабжения.

В соответствии с действующими нормативно-правовыми актами, согласование и утверждение схем теплоснабжения городов в зависимости от их численности занимают администрации городов или федеральный орган исполнительной власти.

При этом в соответствии с методическими указаниями по разработке схем теплоснабжения [3], до сих пор отсутствуют комплексные показатели оценки эффективности принимаемых решений в схемах теплоснабжения городов.

В схемах теплоснабжения целесообразно руководствоваться общеизвестными показателями: динамика потребления топлива источниками теплоснабжения на прогнозный период (на 15 лет) по предлагаемым сценариями развития систем централизованного теплоснабжения и тарифно-балансовыми моделями.

Помимо этого, предлагается применение показателя эффективности выработки энергии ($\text{МВт}^+\cdot\text{ч}/\text{Гкал}$) по городам, где используются или планируются к внедрению источники комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, который определяется как отношение выработки электроэнергии на тепловом потреблении к сумме выработанной (отпущенной) тепловой энергии в городе. Стоит учитывать, что экономия потребления тепловой энергии в границах рассматриваемой территории также положительно сказывается на повышении предлагаемого показателя эффективности выработки энергии.

Таким образом, научная новизна предлагаемого решения позволяет проводить оценку в экспресс-режиме по эффективности закладываемых решений в схемы теплоснабжения городов.

Литература

1. **Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ** «О теплоснабжении».
2. **Постановление Правительства от 22.02.2012 г. № 154** «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения».
3. **Приказ Министерства энергетики РФ от 05.03.2019 г. № 212** «Об утверждении Методических указаний по разработке схем теплоснабжения».

А.Р. Худякова, студ.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ

Ново-Иркутская ТЭЦ является основным источником централизованного теплоснабжения в г. Иркутск, имеет установленную электрическую мощность — 708 МВт, тепловую — 1612,5 Гкал/ч. Ввиду отсутствия газификации основным видом топлива в г. Иркутск является уголь.

В настоящее время на ТЭЦ практически отсутствует резерв тепловой мощности, что ограничивает возможности технического подключения новых потребителей к тепловым сетям станции. Близкое расположение г. Иркутск к озеру Байкал накладывает ограничения по установке новой угольной генерации на ТЭЦ ввиду увеличения выбросов вредных веществ.

Для дальнейшего развитию централизованного теплоснабжения от Ново-Иркутской ТЭЦ предлагается строительство пиковой водогрейной котельной с тепловой мощностью 250 Гкал/ч на правом берегу реки Ангара. Данное техническое решение позволит увеличить тепловую мощность ТЭЦ в существующей системе теплоснабжения, а также создаст резервный источник теплоснабжения, что повысит надежность теплоснабжения потребителей на правом берегу реки Ангара. Поскольку котельная будет покрывать только пики тепловой нагрузки в наиболее холодные дни отопительного периода, то дополнительное загрязнение окружающей среды будет сведено к минимуму. Также рассматривается возможность установки электрических котлов взамен угольных.

Для подключения котельной к существующей тепловой сети ТЭЦ потребуются дополнительное строительство теплотрассы от перспективной пиковой котельной вблизи ул. Карпинская до ПНС «Правобережной» диаметром 1200 мм, длиной 6,1 км в 2-х трубном исчислении. Параметры перспективного гидравлического режима работы тепловой сети были смоделированы в программном комплексе Zulu Thermo с учетом подключения новых потребителей.

Общая стоимость мероприятий по строительству котельной и тепловой сети оценивается в 4 млрд. руб. с НДС в прогнозируемых ценах при реализации в период с 2024 по 2027 годы. Благодаря реализации данного проекта станет возможным подключение к тепловым сетям ТЭЦ около 200 Гкал/ч новых тепловых нагрузок до 2030 года и улучшение показателей работы ТЭЦ: увеличение отпуска тепловой энергии с коллекторов на 450 тыс. Гкал, прирост выработки электроэнергии на 440 тыс. МВт ч, снижение на 2,4 г/кВт ч УРУТ на выработку электроэнергии составит, снижение на 1,4 кг/Гкал УРУТ на выработку тепла.

А. И. Катунина, студ.; рук. Е. В. Жигулина, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СЕРВЕРНЫХ И ЦОД

Повышение энергоэффективности серверных и центров обработки данных (ЦОД) — это актуальная задача, особенно в контексте быстрого развития цифровых технологий и роста числа ЦОД и серверных помещений. В связи с этим наблюдается рост потребления электроэнергии для охлаждения серверных и ЦОД. Существует множество способов охлаждения серверных, таких как охлаждение с помощью сплит-систем, с использованием фальшпола, погружное охлаждение, водяное охлаждение, панельно-лучистое охлаждение. Наша работа посвящена одному из наиболее эффективных направлений охлаждения серверных с использованием системы панельно-лучистого охлаждения и отопления.

В работе представлена разработанная схема охлаждения серверной с применением системы панельно-лучистого охлаждения с одновременным отоплением офисных помещений здания [1–4], осуществлен подбор необходимого оборудования [5], проведен анализ снижения энергозатрат в переходный период. Использование такой системы позволяет обеспечить необходимые параметры микроклимата внутри помещения и достичь максимального комфорта для человека, а также позволяет снизить затраты на электрическую (на 30%) и тепловую энергию (на 45%) по сравнению с использованием традиционной системы охлаждения и отопления.

Литература

1. **Шелгинский А.Я.** Вентиляция и кондиционирование воздуха в помещениях промышленных, общественных и жилых зданий: Конспект лекций / Шелгинский А.Я., Борисов К.Б. — М.: Издательский дом МЭИ, 1999.
2. **Шелгинский А.Я.** Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебное Пособие для вузов / Шелгинский А.Я. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
3. **СП 131.13330.2020** Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.
4. **Е.Г. Малявина** Теплотери здания: Справочное пособие / Москва «АВОК-ПРЕСС», 2007 — 143 с.
5. КаталогGeoClimaDesignAG. / [tp://www.geoclimadesign.com/bluemat-system/bluemat-kapillarrohrmatte/](http://www.geoclimadesign.com/bluemat-system/bluemat-kapillarrohrmatte/) (дата обращения: 21.05.2023)

Т.А. Луговых, студ.;
рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)

АВТОНОМНОЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО ПОСЕЛЕНИЯ

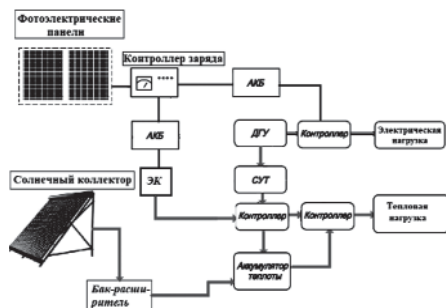


Рис. 1. Схема энергоснабжения поселения Усун-Кюель

из-за удаленности и отсутствия хороших дорог. Возможным решением такой ситуации является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) полностью или совместно с применяемыми уже способами.

Целью работы является разработка возможной схемы энергоснабжения малого жилого поселения в Якутии с использованием ВИЭ. В частности, на основе анализа опубликованных работ, было определено, что поселение Усун-Кюель обладает достаточным количеством ресурсов солнечной энергии для обеспечения села энергией совместно с применяемой на данный момент дизельной генераторной установкой (ДГУ).

В работе была разработана возможная схема тепло- и электроснабжения поселения Усун-Кюель (рис. 1). В схеме используются, помимо ДГУ, фотоэлектрические панели для выработки электроэнергии, солнечные коллекторы для получения горячей воды, системы автоматики, аккумуляторы электрической энергии (АКБ) и тепловой, резервный электрический котел (ЭК), в случае нехватки тепловой энергии, и система утилизации теплоты уходящих газов (СУТ). Теплота уходящих газов используется в системах отопления и ГВС. Это позволяет уменьшить количество потребляемого дизельного топлива на 30%, соответственно сократить затраты на его доставку и снизить количество вредного воздействия на экологию района.

О.Р. Устинова, студ.;
рук. И.А. Кокулин, ассист. (ИГЭУ, Иваново)

ОРГАНИЗАЦИЯ НАДЕЖНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ОКРУГА «ГОРОД КАЛИНИНГРАД»

Калининградская ТЭЦ-2 имеет три тепломагистрали, по которым организовано теплоснабжение Южной части города, Юго-Восточной и ФГКОУ КаПИ ФСБ России. В связи с прогнозируемым уменьшением электрической нагрузки станции в перспективе возможен останов генерирующего оборудования ТЭЦ-2 в межтопительный период, что повлечет прекращения теплоснабжения потребителей на нужды ГВС.

Для исключения перебоев с горячим водоснабжением потребителей в летний период рассмотрены несколько сценариев теплоснабжения.

Сценарий 1 предполагает обеспечение всей нагрузки ГВС от новой котельной на территории ТЭЦ-2. Для этого потребуются выполнить монтаж новой газовой котельной в блочно-модульном исполнении на территории ТЭЦ с мощностью 30 Гкал/ч. Стоимость реализации сценария — 340 млн. руб. с НДС. Данный сценарий позволит сохранить действующий гидравлический режим в системе теплоснабжения ТЭЦ-2. Преимуществом данного сценария является наличие всех подведенных коммуникаций на промышленной площадке ТЭЦ-2, необходимых для строительства котельной. Недостаток сценария — высокие капитальные затраты, в результате чего можно ожидать рост тарифа до 1% у потребителей.

Сценарий 2 предусматривает переключение нагрузки потребителей Южной части города на котельную «РТС Южная» через существующую перемычку в тепловых сетях, потребителей Юго-Восточной части города — на новую БМК, потребителей ФГКОУ КаПИ ФСБ России — на существующую котельную «Емельянова, 300а». Для реализации сценария потребуются: строительство БМК с тепловой мощностью 6,7 Гкал/ч, строительство тепловой сети от котельной Емельянова, 300а до тепловой сети на территории ФГКОУ КаПИ ФСБ России. Стоимость реализации сценария — 92,5 млн. руб. с НДС.

Сценарий 3 предусматривает переключение нагрузки потребителей Южной части города на котельную «РТС Южная», потребителей Юго-Восточной части города и ФГКОУ КаПИ ФСБ России — на новую БМК. Для реализации сценария потребуются строительство БМК с тепловой мощностью 7,7 Гкал/ч. Стоимость реализации сценария — 82,5 тыс. руб. с НДС.

Преимущество сценариев 2 и 3 — это более низкие капитальные затраты, в результате которых тариф у потребителей вырастет не более чем на 0,5%. В качестве недостатков можно отметить отсутствие места под строительство котельных и отсутствие подведенных коммуникаций.

А.А. Рябчикова, студ.;
рук. А.В. Рыженков, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ С ГРУНТОВЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Главной целью и задачей в современном конструировании жилых объектов является эффективная работа систем отопления и ГВС, которые снабжают необходимым объемом тепловой энергии. Для отопления здания возможно использование низкотемпературных источников, в частности геотермальное тепло.

В данной работе был представлен разбор систем теплоснабжения [1], освещены проблемы тепловой энергетики, а также возможные направления её развития. Для жилого объекта был произведен расчет, определяющий количество тепловой энергии для систем отопления и ГВС [2–4]. Рассмотрен тепловой насос, принцип его работы, а также освещены его преимущества и недостатки [5]. Выполнено сравнение затрат при установке рассматриваемой системы, которая работает на тепловом насосе вида «грунт-вода» с системами, работающими на газовом и электрическом котлах. В сравнении с газовым котлом срок окупаемости теплового насоса составил 17 лет, а с электрическим — 3 года. В данном случае использование системы отопления на природном газе выгоднее, чем установка теплового насоса.

Литература

1. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. — 9-е изд., стереот. / Е.Я. Соколов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009 — 472 с.
2. **Шелгинский А.Я.** Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебное Пособие для вузов / Шелгинский А.Я. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
3. **Борисов К.Б., Шелгинский А.Я.** Системы обеспечения жилых, общественных, и промышленных зданий водой питьевого качества: Конспект лекций / Под ред. В.В. Галактионова. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 112 с. Е.Г. Малявина Теплопотери здания: Справочное пособие / Москва «АВОК-ПРЕСС», 2007 — 143 с.
4. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1988. — 432 с.
5. **Гаряев А.Б., Яковлев И.В., Клименко А.В., Данилов О.Л., Очков В.Ф., Вакулко А.Г.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник / Горяев А.Б., Яковлев И.В., Клименко А.В. и др.; под ред. Клименко А.В. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2021. — 504 с.

А.Г. Разумова, асп.;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАНЖИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Темпы износа тепловых сетей и оборудования систем теплоснабжения существенно превышают темпы их ремонта и реконструкции. Порядок оценки технического состояния систем и объектов теплоснабжения и горячего водоснабжения содержится в разрозненных документах. В данной работе рассмотрены основные положения методики, которая позволяет оценивать техническое состояние систем теплоснабжения, выявлять потенциальные «слабые» места и ранжировать эксплуатируемые объекты и оборудование, в соответствии с определенными категориями технического состояния. Методика ориентирована прежде всего на разработку критериев, по значению которых возможно будет принимать решение о дальнейших действиях для поддержания работоспособности системы, а именно ранжирование трубопроводов тепловой сети по результатам комплексной оценки индивидуальных показателей критичности, учитывающих социальную значимость потребителей, срок службы, аварийность, процент резервирования участков, результаты диагностики, а также проведение локально-вставочных ремонтов.

Методику планируется апробировать в населенных пунктах новых субъектов Российской Федерации, система теплоснабжения которых характеризуется высокой степенью износа основных фондов, устаревшими технологиями, низкими темпами технического перевооружения и замены сетей. Кроме того, в ходе боевых действий отдельные системы теплоснабжения были полностью разрушены и требуют их полного восстановления путем нового строительства или реконструкции. При этом в отдельных муниципальных образованиях централизованное теплоснабжение многоквартирных жилых домов полностью отсутствует [1].

Использование рассматриваемой методики позволит внедрить единую систему регистрации данных, тем самым повысить надежность и эффективность проектных и строительных решений при перекладке, восстановлении или ремонте трубопроводов систем теплоснабжения, а также рационально расходовать средства на эти цели.

Литература

1. Программа комплексного развития и модернизации жилищно-коммунального хозяйства Луганской Народной Республики от 21.07.2023 № 24/23.

Секция 39

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Electrochemical and hydrogen energy

Председатель секции: д.т.н., профессор Кулешов Николай Васильевич
Секретарь секции: Курочкин Семен Васильевич

*А.А. Максимкин, студ., А.А. Зацепин, асп.;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Исследования и разработки в области химических источников тока, в частности, перезаряжаемых элементов, стимулированы растущим рынком литий-ионных аккумуляторов и литиевых элементов. Их использование охватывает многие области энергетики: от источников питания электронных устройств, до различных систем хранения электроэнергии, гибридного транспорта и электромобилей. Для уменьшения геометрических размеров и массы аккумуляторов, а также для увеличения их удельной энергоемкости существует необходимость в разработке и исследовании более эффективных электродных материалов, оптимизации конструкций источников тока и подборе их компонентов. Целью настоящей работы является разработка программного продукта для оптимизации состава и структуры литиевых и литий-ионных аккумуляторов, а также первичных элементов различных типоразмеров и конструкций.

В качестве исходных данных разработанный программный продукт использует геометрические параметры наиболее распространенных, серийно выпускаемых источников тока и их компонентов, а также базу экспериментальных данных, наработанную на кафедре ХиЭЭ “НИУ “МЭИ” по разрядам композиционных электродов на основе различных активных веществ. Пользователь программного продукта имеет возможность осуществлять выбор материалов положительного и отрицательного электродов, токоотводов, сепаратора и электролита, а также толщины каждого компонента, что позволяет подобрать оптимальное соотношение геометрических размеров для получения наиболее энергоемкого и эффективного источника тока выбранной электрохимической системы, конструкции и формы. Программный продукт позволяет с высокой точностью провести оптимизацию структуры и расчет конечных энергетических характеристик литиевого источника тока без необходимости его изготовления и тестирования. Оптимизация структуры при моделировании для конкретных режимов разряда и циклирования приводит к экономии времени запуска в производство новых источников тока, а также к экономии используемых активных и вспомогательных материалов.

*С.И. Кутлахметов, Е.П. Елисеева, студенты;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЗАРЯДА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В настоящее время литий-ионные аккумуляторы являются наиболее широко используемыми типами аккумуляторов благодаря своим многочисленным преимуществам, включая высокую энергетическую плотность, длительный срок службы, низкий уровень саморазряда и возможность быстрой зарядки. Они широко применяются в различных областях науки и техники, таких как электромобили, портативные устройства, стационарные системы хранения энергии и многое другое. Настоящая работа посвящена оптимизации режимов заряда литий-ионных аккумуляторов с целью минимизации их продолжительности и получения максимальных разрядных энергетических характеристик.

Циклированию подвергались призматические литий-ионные аккумуляторы с положительным электродом на основе кобальтата лития. Заряд аккумуляторов проводили в комбинированном режиме: первый этап заряда осуществляли от напряжения 3,0 В до 4,2 В в гальваностатическом режиме при варьировании зарядного тока от 0,1 С до 7 С, а второй этап проводили в потенциостатическом режиме при напряжении 4,2 В до достижения тока 0,03 С. Разряд осуществляли в гальваностатическом режиме от 4,2 до 3,0 В током 0,2 С. Электрохимическое тестирование проводили на многоканальном потенциостате-гальваностате Элинс Р-20Х8 в автоматическом режиме по заранее записанной в его память программе.

Установлено, что с увеличением зарядного тока в гальваностатической части заряда наблюдается существенное снижение продолжительности заряда вплоть до режима 0,5 С, далее темп снижения продолжительности заряда уменьшается. При переходе от заряда током 1,0 С до 7,0 С продолжительность заряда снижается незначительно, что связано с перераспределением времени заряда между гальваностатическим и потенциостатическим режимами заряда в пользу последнего. Кроме того, отдача по емкости аккумулятора падает по мере увеличения зарядного тока. Максимальные значения отдачи по емкости достигаются в режимах от 0,1 до 0,2 С на гальваностатическом участке заряда. При зарядах токами от 3,0 С до 7,0 С часто наблюдался разогрев, вздутие и выход из строя аккумуляторов.

Таким образом, анализ зарядно-разрядных характеристик и эффективности работы аккумуляторов позволили сделать однозначный вывод о нецелесообразности увеличения режима заряда аккумулятора свыше 1,0 С ввиду того, что незначительное сокращение времени заряда приводит к значительному снижению отдачи по емкости и ресурса аккумуляторов.

*Р.А. Шакирова, студ., П.Д. Иванов, асп.;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТИЙ — ФТОРУГЛЕРОДНОГО ПЕРВИЧНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА С ПОВЫШЕННОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ

Быстрое развитие мира портативных устройств, военной, медицинской и космической техники, а также электротранспорта стимулирует создание новых химических источников тока, которые будут иметь высокую эффективность, большой ресурс, а также будут просты и надежны в использовании и производстве. Литий — фторуглеродные первичные элементы относятся к наиболее энергоемким первичным литиевым системам. Основным недостатком данных источников тока является их невысокая мощность. Настоящая работа посвящена исследованию влияния высокомошной добавки ванадата серебра на энергетические характеристики фторуглеродного катода.

Повышение мощности литий — фторуглеродных источников тока является важной научно технической задачей. В настоящей работе предлагается решить данную проблему за счет внедрения в структуру катода дополнительного высокомошного компонента — оксида ванадия серебра ($\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$). $\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$ обладает меньшей чем фторуглерод удельной емкостью, но гораздо более высокой мощностью, а также способен увеличивать проводимость материала катода за счет осаждения восстановленного серебра, образующегося в процессе разряда.

Были подготовлены и исследованы образцы катодов на основе фторуглерода, с содержанием ванадата серебра от 2 до 10 масс.%. Установлено, что при плотностях тока до $0,5 \text{ mA/cm}^2$ традиционные фторуглеродные электроды обладают незначительным преимуществом, однако при дальнейшем увеличении плотности тока их характеристики ухудшаются значительно быстрее чем характеристики образцов с добавлением ванадата серебра. Преимущество композиционных катодов по величине удельной емкости начинает проявляться уже при плотностях тока $1,0 \text{ mA/cm}^2$, а при плотности тока $5,0 \text{ mA/cm}^2$ достигает двух раз. Показано, что оптимальное содержание $\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$ в композиционном катоде находится на уровне 8 масс.%, дальнейшее увеличение содержания высокомошного компонента приводит к снижению удельной емкости из-за меньшей энергоемкости оксида ванадия серебра по сравнению с фторуглеродом.

Таким образом, показано, что эффективным способом повышения мощности фторуглеродного катода является введение в структуру катода дополнительного высокомошного активного вещества обладающего повышенной электропроводностью.

*Г.М. Маврин, студ.;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА С ПОВЫШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ БПЛА

В настоящей работе проводится анализ исследований по разработке аккумуляторов для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также рассматриваются новые направления развития этой области. Основной целью работы является создание батареи литиевых аккумуляторов с повышенными энергетическими параметрами для использования в БПЛА.

Одним из эффективных путей повышения характеристик литиевых аккумуляторов является переход от систем содержащих жидкий электролит к твердотельной система на основе полимерных электролитов. В качестве электропроводящего и связующего компонента использовали полимерный электролит на базе сополимера фторсодержащего полисульфона и полисульфидсульфона (ПФДФП+ПСФС), обладающего высокой электропроводностью, адгезией и инертностью к металлическому литию и компонентам положительного электрода.

Твердофазный положительный электрод литиевого аккумулятора представляет собой сложную многофазную систему, электрохимические свойства которой существенно зависят от распределения в ней компонентов и качества контакта между ними. Экспериментальные исследования показали, что от качества перемешивания раствора активных компонентов непосредственно перед удалением растворителя и образованием твердофазного материала, наносимого на подложку электрода, существенно зависят энергетические характеристики конечного катода. Максимальная гомогенизация структуры электрода достигается при введении в его технологию изготовления стадии пластического деформирования на аппаратуре Бриджмена или в планетарной мельнице.

Полученные результаты экспериментов легли в основу расчета твердофазного цилиндрического аккумулятора рулонной конструкции в типоразмере 18650. Показано, что энергоемкость разработанного аккумулятора будет не менее чем на 20% превышать аналогичный параметр лучших образцов, используемых в БПЛА, к которым, например, относится высокоэффективный литий-ионный аккумулятор NCR 18650V фирмы «Panasonic».

Дополнительно в работе подобрана плата BMS и предложена схема коммутации сборки твердофазных аккумуляторов, разработан и напечатан на 3D принтере корпус батареи для использования в популярном БПЛА широкого назначения DJI Mavic 2.

*А.А. Гаврилюк, С.В. Курочкин, аспиранты; Я.В. Исаев, студ.;
рук. В.Н. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ БИ- И ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ВОДЫ

На протяжении длительного времени щелочные электролизеры воды в качестве электродов использовали перфорированные пластины из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т/AISI 316, которые в ходе длительной истории эксплуатации доказали свою нестабильность в анодной области в щелочном электролите [1]. В данной работе изучалась каталитическая активность и стабильность электродных материалов на основе никелевой пены с нанесенным на нее каталитическим сплавом электрохимическим методом. Синтез электродов проходил в два этапа, первым на очищенную химическим способом, поверхность наносился никелевый микропорошок ПНК-ОТ2 в гальванической ванне с NiCl_2 166 г/л и H_3BO_3 33 г/л в течении 1 часа при плотности тока 50 мА/см². Вторым этапом производилось нанесение каталитических сплавов на основе молибдена и вольфрама. Изучение электрохимической активности синтезируемых электродов, в ходе которого были получены кривые Тафеля и циклические вольтамперограммы, проводилось в трех-электродной ячейке. Все измерения проводились с использованием 6 М раствора КОН в качестве электролита при температуре 25 °С. Была получена зависимость перенапряжения по отношению к реакции выделения водорода от массового содержания металлов для образцов с каталитическими сплавами Ni-Mo, Ni-W, а именно 10% и 7% для молибдена и вольфрама соответственно, а так же проведен анализ структур на поверхности электродов в зависимости от комплексобразователя в составе гальванической ванны. Было изучено наличие синергетического эффекта для трехкомпонентных сплавов Ni-W-Co и Ni-Mo-W и Ni-Mo-Co, из которых наилучшую каталитическую активность по отношению к РВК продемонстрировал образец Ni-Mo-Co.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0014 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.) в сфере научной деятельности на 2023-2025 гг.

Литература

1. Кулешов В.Н., Курочкин С.В., Кулешов Н.В., Гаврилюк А.А., Пушкарева И.В., Климова М.А., Григорьева О.Ю. Щелочной электролиз воды с анионообменными мембранами и катализаторами на основе никеля // Электрохимия, 2023, Т. 59, № 11, стр 735–750. DOI: 10.31857/S0424857023110105

*А.А. Опросичев, П.В. Ушаков, И.В. Парамонов, Е.А. Семенова,
Г.И. Хорошилов, студенты; И.М. Молотов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА И ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Возобновляемые источники энергии имеют существенную неоднородность генерации во времени, поэтому они должны поддерживаться системами хранения энергии. В целях накопления электроэнергии широко применяются литий-ионные аккумуляторные батареи (АКБ). Однако АКБ целесообразно использовать для краткосрочного хранения энергии, кроме этого АКБ имеют низкую долговечность и сложны в переработке. Согласно документам стратегического планирования энергетики России, водород рассматривается как эффективный экологически чистый энергоноситель для крупномасштабных систем долговременного хранения энергии.

В настоящем докладе в рамках работ по имитационному моделированию электроснабжения на основе солнечно-ветровой генерации с водородным накопителем энергии [1] приводится моделирование динамики переходных процессов электролизера и водородного топливного элемента, что является важным для обеспечения надежного автономного электроснабжения.

Физические модели реализованы на основе эквивалентных электрических схем, полученных зарубежными авторами [2, 3]. Модели выполнены в отечественной среде динамического моделирования технических систем Simintech с использованием библиотеки функциональных блоков «Электроцепи динамика (ЭЦД)» для расчета мгновенных значений параметров электрических цепей.

Входными и выходными параметрами подсистем, моделирующих электролизер и водородный топливный элемент, являются паспортные технические характеристики на указанное оборудование.

Литература

1. **Молотов И.М., Счастливец А.И., Дуников Д.О., Масленникова М.Р., Мезин С.В., Проталинский О.М.** Управление в целях обеспечения балансовой надежности электроснабжения на основе солнечной генерации с водородным аккумулированием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.
2. **Guilbert D., Vitale G.** Dynamic emulation of a PEM electrolyzer by time constant based exponential model // *Energies*. — 2019. — Т. 12. — №. 4. — С. 750.
3. **Hernández-Gómez Á. et al.** Development of an adaptive static-dynamic electrical model based on input electrical energy for PEM water electrolysis // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2020. — Т. 45. — №. 38. — С. 18817–18830.

С.С. Денисов, студ.;
рук. Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)

МАТЕРИАЛ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА (КАТОДА) НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА ФЕРРОФОСФАТА ЛИТИЯ И ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА

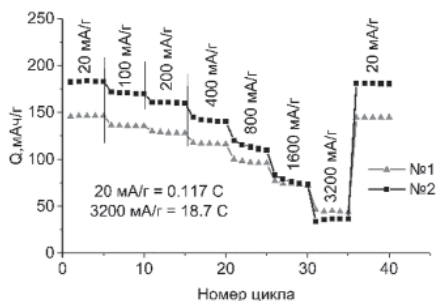


Рис. 1. Изменение разрядной емкости образцов феррофосфата лития при циклировании различными плотностями тока. Номера образцов и плотности тока указаны на рисунке

LFP/C (Образец № 1), путём пиролизического разложения органической добавки (сахарозы). Образец №2 катодного материала изготавливали с добавками оксида графена к Образцу № 1.

Электроды для электрохимических исследований готовили по намазной технологии (85% LFP/C, 10% сажи и 5% поливинилденфторида, предварительно растворенного в N-метилпирролидоне). Количество активного вещества на подложке составляло 10–12 мг/см². В качестве электролита использовали 1 M LiPF₆ в смеси этиленкарбонат-диэтилкарбонат-диметилкарбонат (1:1:1). Результаты электрохимического тестирования показали, что добавка оксида графена к LFP/C приводит к улучшению электрохимического поведения феррофосфата лития, что связано с увеличением электронной проводимости последнего (рис. 1). Оба материала показали стабильные характеристики при циклировании.

Феррофосфат лития (LiFePO₄, LFP) характеризуется высокой удельной емкостью, низкой стоимостью, нетоксичностью, пожаробезопасностью и высокой стабильностью при циклировании. Одним из способов повышения электронной проводимости феррофосфата лития является введение в электродный материал углеродсодержащих добавок.

Синтез LFP выполняли путём гидротермальной обработки стехиометрических смесей (Li:Fe:P = 3:1:1) LiOH·H₂O, FeSO₄·7H₂O и 85% H₃PO₄ при температуре 200 °С. Полученный порошок LFP использовался для получения композита

*Р.М. Меншарапов, М.В. Синяков, аспиранты;
рук-ли Н.А. Иванова, к.т.н.; Б.В. Иванов
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва);
Д.Д. Спасов, м.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕРМОЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ

Электрохимический водородный насос (ЭВН) может быть использован в топливном цикле термоядерных установок для очистки (разделения) и компримирования топлива (смесь изотопов водорода). Одной из отличительных особенностей топливного цикла термоядерных установок является относительно узкий диапазон рабочих давлений топливной смеси: от высокого вакуума (~1–10 Па) до нескольких атмосфер (2–3·10⁵ Па), а в большинстве системах топливного цикла, особенно в системах передачи (например, в газопроводах), давление не должно превышать атмосферное.

В данной работе рассмотрена возможность использования ЭВН с протонообменной мембраной (ПОМ) в топливном цикле термоядерных установок, а также получены вольтамперные характеристики (ВАХ) в диапазоне давлений 0.01–0.30 МПа и температур 20–70 °С. Был проведен регрессионный анализ ВАХ. Получена температурная зависимость предельного тока и сопротивления ЭВН: $\ln(i_{\text{lim}}) = -(1140 \pm 100)/T + (3.0 \pm 0.3)$ и $\ln(p) = (1780 \pm 280)/T + (6.5 \pm 1.1)$. Показано, что данные параметры не зависят от давления в исследованном диапазоне рабочих условий. Получено выражение для производительности ЭВН, которое имеет следующий вид: $\ln(i/2F) = -0.0119 \cdot T - 4.2 \cdot E_{\text{ЭВН}} / (0.05 + E_{\text{ЭВН}}) + 20.4$.

Полученные результаты позволяют прогнозировать работу ЭВН в условиях субатмосферного давления водорода на аноде и оптимизировать рабочие параметры ЭВН для более эффективной эксплуатации устройства.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. Durmus, G.N.B., Colpan, C.O., Devrim, Y., 2021. A review on the development of the electrochemical hydrogen compressors. J. Power Sources 494, 229743. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229743>.

*М.В. Синяков, аспирант;
рук. Ю.С. Пак, к.т.н., доц. (РХТУ, Москва);
Д.Д. Спасов, м.н.с. (НИУ «МЭИ»);
Р.М. Меншарапов, аспирант; Н.А. Иванова, к.т.н.;
Б.В. Иванов (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДНОГО НАСЫЩЕНИЯ ТИТАНОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЯЧЕЙКИ С ПОМ

Электролиз воды в электролизерах с протонообменной мембраной (ПОМ) является безопасной и эффективной технологией получения водорода с чистотой ~99.999%, обеспечивающей высокие плотности тока и КПД. В электролизерах с ПОМ применяют титановые коллекторы тока, которые обладают необходимыми электрофизическими, электрохимическими и механическими свойствами. Однако на катодной стороне электролизера титановые коллекторы в процессе работы накапливают водород и подвергаются водородному охрупчиванию, что приводит к снижению производительности электролизера воды [1].

В настоящей работе исследовано влияние накопления водорода в титановых коллекторах на рабочие характеристики электролизера воды. Характер исследуемой зависимости является сложным и учитывает как влияние концентрации водорода на характеристики электролизера воды, так и деформацию коллекторов и состояние их поверхности, изменение которых связано с используемой методикой наводороживания.

Установлено влияние концентрации водорода до 50 ат.% в катодных коллекторах тока на вольтамперные характеристики (ВАХ). С ростом концентрации водорода наблюдается тенденция к уменьшению электрохимических характеристик электролизера воды. В случае концентрации 50 ат.% H, рост перенапряжения составил ~6%, что объясняется образованием гидридной фазы.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. Григорьев С.А., Порембский В.И., Фатеев В.Н., Самсонов Р.О., Козлов С.И. Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы // Транспорт на альтернативном топливе. 2008. № 3. С. 62–69.

М.Э. Баранов, студ.;
рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНОМ МЕТАЛЛОГИДРИДНОМ УСТРОЙСТВЕ ХРАНЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДОРОДА

Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации определяет глобальные цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики на долгосрочный период до 2035 года, а также определяет основные ориентиры на перспективу до 2050 года. При этом развитие водородных технологий подразумевает рост производства и применения водорода с низким углеродным следом [1, 2]. Для эффективного выполнения целей и задач Концепции необходимо решить вопросы эффективного, обратимого и безопасного хранения водорода.

Интерметаллические сплавы (ИМС) являются перспективными материалами для хранения и очистки водорода. Главными сдерживающими факторами широкого применения твердофазного связанного хранения водорода в ИМС являются проблемы тепломассообмена [2–4].

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования тепловых процессов, происходящих при абсорбции/десорбции водорода в проточном металлгидридном устройстве хранения и очистки. Получены результаты численного моделирования процессов тепло- и массопереноса при поглощении и выделении водорода в проточном металлгидридном реакторе. Изучены основные проблемы, приводящие к остановке процесса сорбции и извлечения водорода из смеси газов в проточном устройстве хранения и очистки водорода.

Литература

1. **Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р.** Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации.
2. **Н.В. Кулешов, С.К. Попов, С.В. Захаров и др./** Водородная энергетика — Москва : НИУ МЭИ, 2021. — 548 с.
3. **Радченко Р.В.** Водород в энергетике : учебное пособие / Р. В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа ; [науч. ред. С.Е. Щеклеин]. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. — 229 с.
4. **Yi Yang, Xiaofeng Mou, Zezhi Zhu, Zewei Bao.** Measurement and analysis of effective thermal conductivity of LaNi_5 and its hydride under different gas atmospheres // International Journal of Hydrogen Energy. Volume 46, Issue 37, 28 May 2021, Pages 19467–19477.

Н.С. Сергиенко, студ.;
рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН)

РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЛЛОГИДРИДНОГО РЕАКТОРА

В Российской Федерации функционируют более тридцати крупных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), газоперерабатывающих заводов (ГПЗ) и более 100 мини-НПЗ с суммарной возможностью переработки более 300 млн тонн сырья в год, при этом большинство из них были введены в эксплуатацию с конца 40-х до середины 60-х годов и не отвечают современным экологическим требованиям [1]. В процессе работы НПЗ и ГПЗ возникает масса вредных выбросов, таких как сероводород, оксиды азота, серы и углерода, предельные углеводороды, аммиак, фенол, ксилол и др. Выбросы загрязняют все объекты окружающей среды: почвенно-растительный покров, воздушный бассейн, грунтовые и поверхностные воды. Научное сообщество активно ищет способы разделения таких смесей на отдельные компоненты, но в настоящее время на это требуются высокие энергозатраты и дорогостоящее оборудование [1, 2].

Металлогидридный способ извлечения водорода из потока газовой смеси может решить некоторые экологические и экономические вопросы. Помимо этого, данный способ обладает рядом преимуществ для практического применения, таких как высокая удельная плотность хранимой энергии, быстрая кинетика процессов, экологичность и максимальная безопасность. Основным компонентом металлогидридного устройства является водородпоглощающий материал на основе интерметаллических соединений (ИМС) различных типов.

ИМС способны обратимо поглощать и выделять водород при нормальных условиях. Выделяемый газ обладает высокой чистотой и не требует дальнейшей очистки, а значит его можно применять в химической промышленности, в металлургии, энергетике, а также и в нефтепереработке [3].

В данной работе представлены результаты исследования процессов при извлечении водорода из газовой бинарной смеси водород/метан при помощи металлогидридного реактора хранения и очистки водорода. Показаны основные параметры процесса и рассчитана эффективность данного метода очистки.

Литература

1. **Бактыбаева З.Б. и др.** Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье населения (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. — 2018. — №. 4 (16). — С. 12–26.
2. **Муратова С.К., Кенжегалиева Ж.М., Музаппарова А.Б.** Загрязнение атмосферы нефтегазовыми выбросами // World science. — 2015. — № 3(3). — С. 6–8.
3. **Новак А.** Водород: энергия «чистого» будущего // Энергетическая политика. — 2021. — №. 4 (158). — С. 6–11.

В. Д. Михневич, асп., В.Е. Елецких, студ.;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ КОМПЛЕКСА АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ

Рассматривается схема электроснабжения на основе парка ветрогенераторов с водородным аккумулированием энергии [1]. Водородные электрохимические преобразователи энергии (электролизеры и топливные элементы) в такой схеме играют ключевую роль. Электролизер преобразует избыток энергетической энергии в водород, который затем может накапливаться или сразу использовать для тепло-снабжения в водородных котлах в холодные месяцы года, а также для энергоснабжения. Так накопленный электролизный водород используется в энергоустановке на топливных элементах, для гарантированного энергоснабжения в период слабого ветра или его отсутствия. Кроме того, такая энергоустановка на топливных элементах является резервным источником питания, как обязательный элемент любой схемы автономного энергоснабжения.

Расчет электрохимических преобразователей для альтернативной схемы энергоснабжения для конкретного автономного потребителя проводился исходя из климатических баз данных по ветропотенциалу рассчитывалась генерация электроэнергии от ВЭУ (с дневным лагом), а также его график потребления электрической и тепловой энергии. Далее составлялся баланс, который определял количество ветрогенераторов, состав и производительность электрохимических преобразователей энергии. Производительность электролизной установки определялась из максимального избытка электрической энергии, вырабатываемой ВЭУ за вычетом текущих потребности в электрической и тепловой энергии. Мощность энергоустановки на топливных элементах определялась из максимальной мощности электропотребления в суточном графике нагрузки. Как правило суточная электрическая нагрузка мало меняется в течение года, но должен быть выбран день с максимальной нагрузкой. После расчета параметров электрохимических преобразователей проводилось моделирование и создание их 3-D образов. Кроме того, проводилось моделирование процессов генерации тока и тепло-массообменных процессов.

Литература

1. Нефедкин С.И. Нефедкин С.И., Барсуков А.О., Мозгова М.И., Шичков М.С., Климова М.А. Автономное энергоснабжение с использованием ветроэнергетического комплекса и водородного аккумулирования энергии // «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE), 2019;16–18:12–26.

*А.В. Рябышенков, студ.; М.В. Козлова, асп.;
рук. С.Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ МАССОПЕРЕНОСА В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ С ТВЕРДО-ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Сегодня основная масса водорода, производится методом парового риформинга метана, во время которого природный газ смешивается с воздухом при контролируемом сгорании для получения водорода и окиси углерода. В настоящее время, из-за необходимости снижения углеродных выбросов началось интенсивное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), энергия которых может использоваться для получения «зеленого» водорода методом электролиза воды с протонообменной мембраной (ПОМ), при котором отсутствуют непосредственные выбросы CO_2 .

Электролиз воды с ПОМ имеет такие преимущества, как: простота конструкции, работа при высоких плотностях тока (до $3 \text{ A}/\text{cm}^2$), быстрый отклик на изменение нагрузки, что позволяет применять данные виды систем с ВИЭ [1]. Одной из основных проблем, оказывающих непосредственное влияние на цену водорода, для электролизеров воды с ПОМ, наравне с высокой стоимостью компонентов, являются потери напряжения. Основными источниками потерь в элементе являются омические, кинетические и транспортные потери [2].

Последний вид потерь зачастую связан с замедленным транспортом воды и газов в пористых электродах, в основном в анодном пористом транспортном слое. Целью исследования является исследование влияния структуры и морфологии анодного пористого транспортного слоя на транспортные потери в электролизере воды с ПОМ. Большое значение имеет выбор принципа подачи воды в электролизный элемент. В данной работе рассмотрены различные виды питания электролизного элемента, и их влияние на характеристики и структуру потерь напряжения элемента.

Литература

1. **Grigoriev S.A.** Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy // *Int. J. Hydrogen Energy*, 2006, 31, 171–175.
2. **Owejan J.P.** // *Int. J. Heat Mass Transf.*, 2014, 71, 585–592.

Е. Симонова, студ.; рук. М.А. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ И МЕТОДОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

В настоящее время развитием топливных элементов с протонообменной мембраной (ТЭ ПОМ) занимается множество зарубежных компаний и мировых автоконцернов. ТПТЭ состоит из двух электродов, разделённые твёрдым электролитом. В качестве электролита используются перфторированные (ионообменные) мембраны типа Nafion фирмы DuPont (США). ОАО «Пластполимер» выпускает перфторсульфовую протонообменную мембрану типа МФ-4СК в России с 1990-х годов. Перфторированная основа мембраны обладает высокими гидрофобными свойствами, что приводит к низким температурам эксплуатации ТЭ ПОМ (до 80 °С) и вызывает технические проблемы со стабилизацией водного баланса системы.

В качестве катодного катализатора могут использоваться металлы платиновой группы на углеродном носителе. Каталитический слой ТЭ ПОМ обеспечивает высокоразвитую границу между катализатором и полимерным электролитом и представляет собой сложную многокомпонентную структуру, состоящую из частиц катализатора на носителе, ионообменного полимера и системы газовых и жидкостных пор. Исследования в области синтеза современных катализаторов для ТЭ ПОМ и измерение их активности позволят увеличить удельные мощностные характеристики электрохимических систем. Для нанесения катализатора на поверхности газодиффузионного слоя (ГДС) был использован метод шелкотрафаретной печати и ультразвукового распыления. Сравнительные исследования синтезированного катализатора, проведенные в электрохимической ячейке, показали практически равную активность по сравнению с коммерческим образцом «HiSPEC™ Pt40C», полученным методом ультразвукового распыления каталитических чернил на микропористый слой ГДС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0014 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.) в сфере научной деятельности на 2023–2025 гг.

Литература

1. Nefedkin S.I., Klimova M.A., Kolomeitseva E.S., Klochnev M.K., Levin E.E., Petrii O.A. Pt- and Ir-based disperse catalysts synthesized in a magnetron for water electrolyzers with a solid polymer electrolyte // Russian Journal of Electrochemistry, 2017, V. 53 (3), P. 284–291.

Н.С. Городничин, студ.; рук. С.В. Тютрина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИЦИТРАТОБОРАТА ГЛИЦИНИЯ В КОМПЛЕКСЕ С БЕНТОНИТОМ

Для получения перспективного термохимического материала матрица должна обладать невысокой температурой регенерации, хорошей тепло- и массопередачей, длительным периодом хранения тепловой энергии и высокой эффективностью. Bentonит характеризуется многослойной структурой, хорошей теплопроводностью, химической инертностью и может быть использована в качестве основы для закрепления гидратированных комплексных солей, образующих устойчивые ТАМ [1]. Предлагаемая нами комплексная соль дигидратобората глициния не гигроскопична, термически устойчива, может образовывать гелеобразный слой совместно с графитом при низкой относительной влажности, что делает ее перспективным материалом для применения в аккумулировании тепла. При термическом разложении дает слабощелочную среду, что предотвращает развитие коррозионных процессов. Структура бентонита обладает теплопроводностью 0,87 Вт/м К, а теплопроводность исследуемого композиционного материала на основе дигидратобората глициния колеблется от 1,74 до 2,18 Вт/м К.

Синтез термохимических теплоаккумулирующих материалов на основе природного бентонита где в качестве носителя используется комплексная соль дигидратобората глициния, является весьма перспективным. По полученным результатам, можно сделать вывод, что бентонитовая глина в смеси с графитом представляет собой перспективную матрицу для перспективной разработки малозатратных ТАМ, обладает большим сорбционным потенциалом и высокой емкостью, что помогает стабилизировать комплексные гидратированные соли. Благодаря увеличению пластинчатой структуре происходит накопление энергии, что позволяет использовать полное количества внедренной соли.

Литература

1. **Падамурти А., Нандаванам Д., Раджагопалан П.** Оценка выбранных гидратов солей для термохимического хранения энергии // *Материалы сегодня*. 2022. Т. 64. Ч. 4. С. 1609–1615. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.048>

Секция 40

ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Economics of energy

Председатель секции: к.т.н., доцент Курдюкова Галина Николаевна

Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна

Л.Д. Бероян, студ.; рук. Ю.Г. Коломиец, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В Г. СОЧИ

В наши дни вопросы энергоснабжения офисных зданий становятся все более актуальными. Растущая потребность в электрической энергии, изменение климата и истощение традиционных источников энергии делают необходимым искать новые, экологически чистые и устойчивые альтернативы. С целью сокращения расходов на энергию, использование солнечной энергии для энергоснабжения становится одним из основных направлений развития. [1]

Объектом исследования является офисное здание в городе Сочи, возможность энергоснабжения которого будет рассматриваться на основе солнечной энергии.

Сочи подходит для такой системы, ведь регион обладает достаточным количеством солнечных дней в году и высокой солнечной активностью. А также это может быть особенно перспективно для офисных зданий, которые, как правило, обладают большой площадью крыши, подходящей для установки солнечных панелей.

Целью данной работы является экономическое обоснование электроснабжения офисного здания в городе Сочи за счет солнечной энергии, анализ эффективности и рентабельности такой системы.

Как показали расчеты, благодаря использованию солнечной энергии можно значительно сократить расходы на электричество, что положительно скажется на бюджете офисного здания. Кроме того, в долгосрочной перспективе, такая система сопряжена с меньшими рисками, связанными с нестабильностью цен на энергоносители.

В результате, технико-экономического обоснования энергоснабжения офисного здания в Сочи с использованием солнечной энергии представляет собой перспективное решение. Были получены такие показатели эффективности как ЧДД, дисконтированный срок окупаемости и другие. Это показало, что этот проект является выгодным инвестиционным решением для выбранных условий.

Литература

1. **Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. М.: КноРус, 2010. — 232 с.

Ю.В. Неганова, студ.; рук. Е.И. Рукина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «РОССЕТИ УРАЛ»

Финансовое состояние компании является одним из важных моментов ее деятельности, определяющим успешность, устойчивость и тенденции развития бизнеса. Анализ финансового состояния позволяет планировать дальнейшие действия для стабильного развития предприятия.

Объектом исследования выступает ПАО «Россети Урал» — это филиал, который входит в группу компаний «Россети». Данная организация является одной из важных региональных энергетических компаний, которая занимается разработкой, строительством и эксплуатацией энергетических объектов на Урале [1]. Одним из значительных достижений «Россети Урал» является его устойчивое финансовое состояние. Компания активно инвестирует в развитие своей инфраструктуры, модернизацию существующих объектов и внедрение новых технологий.

В процессе выполненной работы был проведен анализ финансовых результатов деятельности, рассчитаны ключевые показатели и разработаны рекомендации по повышению финансовой устойчивости.

По итогам проведенного анализа (таблица 1) можно сделать вывод, что компания имеет устойчивое финансовое положение, рентабельность имеет положительную динамику. Это позволяет компании оставаться ликвидной и отвечать по своим обязательствам перед заинтересованными сторонами.

Таблица 1. Основные финансовые показатели состояние ПАО «Россети Урал»

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022
Себестоимость, млрд руб	80,0	85,5	72,5	75,7	80,3
Общий показатель платежеспособности	0,39	0,30	0,21	0,24	0,31
Коэффициент текущей ликвидности	0,59	0,72	0,69	0,59	0,56
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,10	0,13	0,12	0,12	0,11
Рентабельность продаж, %	0,64	2,60	0,70	3,98	4,15

Улучшение финансового состояния компании может быть достигнуто путем стабилизации и роста показателей платежеспособности и текущей ликвидности. Это позволит повысить заинтересованность инвесторов.

Литература

1. **Электронный ресурс:** о компании ПАО «Россети Урал» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://rosseti-ural.ru/company/highlights/finance/>

Г.О. Корсаков, студ.; рук. Т.А. Шиндина, д.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РОССИИ

Нефтегазовый комплекс (НГК) функционирует при воздействии неблагоприятных условий, что требует разработки моделей для обеспечения устойчивого развития.

Когнитивная устойчивость позволяет посчитать векторную, импульсную устойчивость системы. Если когнитивный показатель равен 0 — система абсолютно неустойчива, если стремится к бесконечности — слишком высокие риски потери устойчивости [1].

После тщательно проведенного анализа литературных источников по устойчивому развитию комплексов/предприятий были выделены наиболее значимые внутренние и внешние критерии устойчивости для НГК (таб. 1).

Таблица 1. Критерии устойчивости НГК

Внутренние критерии	Внешние критерии
Информационная безопасность	Государственное регулирование
Наличие квалифицированных и обученных сотрудников	Устойчивость к изменению рыночных цен на нефть и газ
Эффективная коммуникация внутри организации	Устойчивое развитие международных отношений
Использование инновационного оборудования и технологий	Устойчивость к изменению геополитической ситуации
Устойчивый рост фин. показателей	Соблюдение междунаро. стандартов
Соблюдение стандартов здоровья и безопасности сотрудников	Устойчивость к изменению конкурентной среды
Устойчивость к коррупции	Развитие и поддержка инфраструктуры
Своевременная индексация зарплат	Охрана окружающей среды

Моделирование проводилось в программе Mathcad [2]. После качественной оценки взаимосвязей всех факторов, коэффициент когнитивной устойчивости для внутренних факторов получился равным 4,834, для внешних — 2. Таким образом, внутренняя среда хуже функционирует (более чем в 2 раза), чем внешняя, по показателю устойчивости.

В итоге, менеджерам нефтегазовых предприятий необходимо основное внимание направить на управление параметрами внутренней среды.

Литература

1. **Габрин К.Э.** Теория и методология экономического регулирования безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений // диссертация на соискание уч. ст. д.э.н., Ч., 2005 г. — 404 с.
2. **Шиндина Т.А.** Методологические основы развития строительного комплекса и оценки межфирменных взаимоотношений // диссертация на соискание уч. ст. д.э.н., М., 2008 г. — 385 с.

И.А. Маринцева, асп.;
рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ

Современные вызовы в области изменения климата настойчиво требуют переосмысления энергетической политики, особенно в контексте стремления к безуглеродной экономике. 26 октября 2023 года Президент РФ подписал вторую по счету, обновленную Климатическую доктрину, в которой впервые декларирована цель достижения углеродной нейтральности к 2060 году.

Доминирование традиционных источников в энергетическом секторе России обусловлено значительной зависимостью от углеводородных ресурсов, что требует стратегических изменений для снижения углеродного следа. По расчетам СО ЕЭС России с учетом всех вводимых в эксплуатацию мощностей, доля низкоуглеродной генерации в России к 2050 году вырастет с 39,3% до 56,8%, а доля выработки ВИЭ достигнет 12,5% [1], что является недостаточным для перехода России к безуглеродной энергетике.

Гибридная генерация представляет собой интеграцию различных возобновляемых источников энергии с традиционными с целью обеспечения устойчивости и эффективности энергосистемы. Эффективное внедрение гибридных систем требует разработки стратегии интеграции с учетом особенностей российской топографии, климата и инфраструктуры.

Реализация данного подхода требует комплексного подхода, объединяющего технологические, экономические, социальные и регуляторные аспекты. Прогнозы развития гибридных технологий в России указывают на значительное улучшение энергетической эффективности и достижения стратегических целей низкоуглеродной экономики.

Автором предлагается стратегия интеграции систем гибридной генерации энергии в энергосистему РФ, позволяющая сглаживать нестабильность выработки энергии на объектах ВИЭ и способствующая улучшению энергетической эффективности, снижению зависимости от традиционных источников и стимулированию инноваций в секторе возобновляемой энергии, что предоставит значительные преимущества для достижения целей низкоуглеродной экономики.

Литература

1. СО ЕЭС, Изменениях в структуре производства электроэнергии в Российской Федерации в условиях энергетического перехода [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://clck.ru/36anfB> (дата обращения: 13.11.2023).

А.Р. Калинина, студ.; рук. Е.И. Рукина, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «ЛУКОЙЛ»

Финансы являются одной из важнейших сфер деятельности любого хозяйствующего субъекта, определяющей его жизнеспособность, развитие и конкурентные преимущества. Финансовое состояние отражает финансовые возможности и обязательства субъекта, а также его финансовую устойчивость и эффективность. Для оценки финансового состояния предприятия используются различные методы и инструменты. Анализ финансового состояния позволяет выявить сильные и слабые стороны финансовой деятельности, определить факторы, влияющие на финансовые результаты, а также дать рекомендации по улучшению финансового положения.

Целью данной работы является анализ финансового состояния на примере ПАО «ЛУКОЙЛ» — одной из крупнейших нефтегазовых компаний в России и мире. ПАО «ЛУКОЙЛ» представляет собой интегрированную вертикально-ориентированную нефтегазовую компанию, осуществляющую полный цикл добычи, переработки и сбыта нефти и газа, а также производство и продажу нефтепродуктов, электроэнергии и химической продукции [1].

В процессе выполнения работы был проведен анализ финансовой деятельности, рассчитаны ключевые показатели и разработаны рекомендации по повышению платежеспособности и финансовой устойчивости.

По итогам проведенного в таблице 1 анализа можно сделать вывод, что компания имеет финансово устойчивое положение.

Таблица 1. Показатели финансового состояния ПАО «ЛУКОЙЛ»

Коэффициенты	2020	2021	2022	Δ2021	Δ2022
Общий показатель платежеспособности	0,505	0,68	0,917	0,175	0,237
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,199	0,215	0,342	0,016	0,127
Коэффициент критической ликвидности	0,539	0,767	0,956	0,228	0,189
Коэффициент текущей ликвидности	0,551	0,847	1,001	0,296	0,154

По итогам оценки финансового состояния в каждом году наблюдается рост всех показателей и их приближение к оптимальным значениям. Это говорит о том, что предприятие повышает свою финансовую устойчивость и независимость от внешних источников финансирования, за счет уменьшения доли заемных средств в своем капитале.

Литература

1. **Электронный ресурс:** о компании ПАО «ЛУКОЙЛ» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://lukoil.ru/Company>

Н.Д. Демидов, студ.;
рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Современный мир сталкивается с рядом глобальных вызовов, таких как изменение климата, необходимость повышения энергетической эффективности и надежности энергоснабжения. Проводимые исследования стали возможными благодаря появившимся не так давно цифровым технологиям и переходу к рыночным моделям энергорынков.

Системы теплоснабжения играют важную роль в нашей жизни. Но на текущий момент они имеют низкую энергоэффективность и большие потери тепла. Переход на новые цифровые технологии решит эти проблемы и уменьшит затраты. Также цифровизация энергетики позволит снизить долю участия человека, что уменьшит количество аварий [2].

Цель исследования — разработка инструментов повышения эффективности работы систем теплоснабжения, разработка экономических инструментов. Особое внимание в данном исследовании уделяется перестройке систем планирования и управления затратами энергетических предприятий вследствие внедрения цифровых технологий, автоматизации систем теплоснабжения и оптимизации их работы с использованием больших данных. Так как важными аспектами развития систем теплоснабжения, считается применение современных информационных технологий, учет энергосберегающих мероприятий, снижение затрат на производство и транспортировку и повышение качества обслуживания потребителей. Основной задачей исследования является повышение экономической эффективности, снижение негативного влияния на окружающую среду и улучшение обслуживания потребителей [1].

В данном исследовании проведен обзор литературы, где проанализированы подходы и технологии в области развития систем теплоснабжения при цифровизации энергетики. Были выявлены проблемы и разработаны рекомендации по улучшению эффективности систем и снижению экономических затрат. Личный вклад заключается в разработке модели управления системой теплоснабжения и организационно-экономической модели управления. Данная модель будет использоваться на объектах теплоснабжения и предназначаться для теплопроизводящих компаний, при практическом применении, позволит снизить на 10% затраты при производстве. Этот подход позволяет снизить расходы на теплоснабжение и повысить уровень комфорта для конечных потребителей.

Литература

1. **Мунц Ю.Г.** Экономика теплоэнергетики. М.: Уральский университет, 2022.
2. **Рогова Т.Н.** Экономика энергетики. М.: Ульяновский университет, 2015.

А. М. Демидова, студ.;
рук. Е. Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЮДЖЕТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РЕГИОНАХ РОССИИ

В России на начало 2023 года насчитывается более 20,66 тысяч электромобилей. При этом 12,81 тысяч (62%) приходится на 10 субъектов Российской Федерации. В число лидирующих субъектов по количеству электромобилей входят Москва, Приморский край и Иркутская область.

В условиях стремительного развития электромобильной индустрии и перехода к экологически более устойчивым транспортным решениям, развитие зарядной инфраструктуры становится важным аспектом для регионов Российской Федерации [1]. В свою очередь, оценка эффективности бюджетного финансирования играет значимую роль в обеспечении устойчивости и эффективности данного процесса.

На данный момент в Москве насчитывается всего около 270 зарядных станций, к вводу в эксплуатацию планируется 30 медленных и 73 быстрых станций [2]. Отсутствие зарядной инфраструктуры в регионах ограничивает развитие электромобильного движения даже при наличии высокого спроса на электротранспорт.

Поскольку развитие электродвижения является вопросом государственной важности, создание доступной зарядной инфраструктуры крайне необходимо. Размер бюджетных ассигнований в 2023 году на реализацию мероприятий по развитию зарядной инфраструктуры для электромобилей составил 2 406 720,00 тыс. рублей [3].

В результате исследования был проведен анализ исполнения бюджетных обязательств, а также были сформулированы предложения по улучшению исполнения выделенных средств федерального бюджета, предложены дополнительные меры государственной поддержки. Дальнейшее исследование будет направлено на разработку модели оценки эффективности бюджетного финансирования развития зарядной инфраструктуры для регионов России, в целях повышения эффективности исполнения расходов федерального бюджета.

Литература

1. АВТОСТАТ (autostat.ru) [Электронный ресурс] URL:<https://www.autostat.ru/news/54079/?ysclid=los8zxbmn9599735403>
2. Единый Транспортный Портал (mos.ru) [Электронный ресурс] URL: <https://transport.mos.ru/electro/address?ysclid=logvvtzbsq274287009>
3. Федеральный закон «О федеральном бюджете на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов» от 05.12.2022 N 466-ФЗ (последняя редакция) \ КонсультантПлюс (consultant.ru)

А.Д. Левин, студ.; В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

В связи с возможным изменением спроса и предложения для стабильного функционирования, а также для улучшения результатов финансово-экономической деятельности предприятия стоит расширять свою экономическую деятельность в ответ на запросы рынка.

В качестве объекта исследования в работе рассмотрена организация АО «Атомэнергопроект», входящая в ГК «Росатом» и занимающаяся проектированием и строительством атомных электростанций.

Анализ литературных источников показал, что индексы наукоемкости и фондоёмкости производства для компаний атомной промышленности, соответственно составляют 40% и 35% [1]. Отмечается важность оценки конкурентоспособности инновационных промышленных предприятий.

Проведенный анализ показал наличие ряда недостатков, препятствующих расширению экономической деятельности АО. В связи с этим в работе предложены мероприятия: расширение деятельности лабораторий при АО, которые могут выполнять дополнительно работу, например, реализовывать услуги для сторонних организаций; расширение проектной деятельности в строительной сфере гражданских объектов, например, дополнительно проектировать крупные объекты в промышленности или иной сфере экономики. Возможное расширение рынка строительных работ послужит росту количественных показателей деятельности АО «Атомэнергопроект», что является актуальным для организации и определяет актуальность нашего исследования. Для обоснования выбора из предлагаемых к реализации мероприятий по расширению деятельности АО «Атомэнергопроект» необходимо провести оценку их экономической эффективности.

В работе были рассчитаны показатели экономической эффективности предлагаемых к реализации мероприятий: индекс доходности — 1,78; срок окупаемости — 2/3 расчетного периода.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности расширения экономической деятельности АО «Атомэнергопроект».

Литература

1. **Ершова М.И., Юрлов Ф.Ф.** Мировой опыт зарубежных инжиниринговых компаний энергетической отрасли // Актуальные вопросы науки и практики: материалы XIX Международной научно-практической конференции: Сб. науч. тр. Анапа, 2020. С. 10–15.

А.В. Попов, студ.; рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Формирование цифровой экономики и повышение важности следования концепции устойчивого развития определяют современные условия функционирования предприятий. Существенные проблемы людей настоящего и будущего, конечность ресурсов и климатические изменения определяют потребность в механизмах, которые помогут согласовать интересы экономического роста, социальной ответственности и экологического баланса путем нахождения их баланса в долгосрочной перспективе.

Сущность “устойчивого развития” для компаний заключается в обеспечении такого экономического роста, который не наносит вреда окружающей среде, и способствует разрешению социальных проблем, находя баланс между экономическим, экологическим и социальным развитием, то есть в замене понятия эффективности как количественного результата на качественно-количественную оптимальность [1].

На сегодняшний день существует множество методик оценки уровня устойчивого развития компаний, среди них выделяют как общепризнанные способы оценки, например ESG рейтинги, так и различные авторские методики, опирающиеся на разнообразные группы показателей, однако зачастую в них не уделяется достаточного внимания экономической составляющей устойчивого развития и факторам цифровой зрелости организаций [2]. Это обуславливает необходимость дополнения набора используемых показателей оценки для придания большей актуальности методикам.

Таким образом, опираясь на описанные выше недостатки существующих методик, был проведён анализ актуальных для энергетики показателей и дополнен перечень оцениваемых в методике индикаторов группами показателей экономической устойчивости и показателями цифровой зрелости. Разработанная модель позволит оценивать устойчивое развитие энергокомпании с учетом отраслевой специфики единым актуальным механизмом.

Литература

1. **Лисина, Е.П.** Интерпретация экономической эффективности с позиций устойчивого развития // Актуальная наука. — 2019. — № 3(20). — С. 55–58.
2. **Трегьякова, Е.А. Алферова Т.В. Пухова Ю.И.** Анализ методического инструментария оценки устойчивого развития промышленных предприятий // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. — 2015. — № 4(27). — С. 132–139.

А.О. Краснов, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ РИСКАМИ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ-ИЗОЛИРОВАННЫХ ЗОНАХ ДФО

В условиях постоянного повышения энергопотребления в регионах России идет непрерывное развитие их топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Согласно [1], для ускоренного перехода к более эффективной энергетике одной из характеристик является дополнение централизованного энергоснабжения децентрализованным.

ТЭК Дальнего Востока представляет собой совокупность Энергетических систем: ОЭС Востока, частично ОЭС Сибири (Республика Бурятия и Забайкальский край) и четыре субъекта РФ региона, энергосистемы которых изолированы по территориально-технологическим причинам, а именно: Камчатский край, Сахалинская область, Магаданская область и Чукотский автономный округ [2]. Одним из решений обеспечения населения данных регионов энергоснабжением является распределенная генерация энергии. К ней относятся различные технологии производства энергии, из которых были выбраны мини-ТЭЦ на базе газопоршневых, дизельных и газотурбинных установок [3].

В ходе работы были выделены типовые структуры затрат, особенности реализации и основные факторы, влияющие на формирование инвестиционных рисков проектов строительства мини-ТЭЦ на базе ГПУ, ГТУ и ДЭС до 30 МВт в технологически-изолированных зонах ДФО. Учет региональных особенностей позволил выявить предпочтительные пути управления инвестиционными рисками подобных проектов. Полученные результаты будут способствовать оптимизации пространственного размещения энергетической инфраструктуры Дальневосточного федерального округа.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р** «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // Собрание законодательства РФ.
2. **ОЭС Востока.** — Текст : электронный // АО «Системный оператор Единой энергетической системы»: [сайт]. — URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/oes-east/> (дата обращения: 18.11.2023).
3. **Савина, Н.В.** Оценка целесообразности перехода на распределенную генерацию / Н.В. Савина, В.М. Жукова // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Благовещенск, 11–12 марта 2019 года. — Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. — С. 233–238. — EDN FZCKTB.

И.Д. Кайгородова, студ.;
рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Энергетические проблемы выходят на первое место в мире среди важнейших проблем и задач, которые предстоит решить обществу в XXI веке. Сложившаяся ресурсная база энергетики, на которой строится вся хозяйственная деятельность человечества исчерпаема. В связи с этим вопросы энергосбережения, развития и внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становятся одними из самых актуальных.

По состоянию на январь 2022 года, согласно данным Минэнерго России, в Единой энергосистеме РФ доля солнечных электростанций (СЭС) составила 1,962 ГВт, или 0,78% от суммарной мощности электростанций 246,55 ГВт. Наибольшая доля выработки солнечной генерации происходит на юге страны [1].

Целью работы является оценка эффективности проекта строительства солнечной электростанции в энергосистеме республики Дагестан. Республика Дагестан, расположенная на юге России, обладает значительным потенциалом для использования солнечной энергии. Благоприятные климатические условия, обилие солнечного света и просторные земельные участки делают этот регион идеальным для развития солнечной энергетики.

Как показали расчеты, использование солнечных источников энергии может составить значительную конкуренцию традиционным топливным, так как для республики со сложным ландшафтом прокладка распределительных сетей от обычных электростанций — трудная задача. Солнечная электростанция значительно сократит или даже полностью ликвидирует эту проблему. Кроме того, в республике Дагестан исчезнет энергодефицит и снизится стоимость киловатт.

В результате исследования проведена оценка экономической эффективности проекта, включая анализ внутренней нормы доходности (ВНД), индекса доходности (ИД), срока окупаемости и других показателей. Определены социально-экономические и экологические преимущества. Проведенные расчеты показали нам, что проект жизнеспособен и эффективен для реализации.

Литература

1. Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России [электронный ресурс]. <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/?ysclid=lje59x9dg2773173793>

А.А. Крыленко, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ОТРАСЛЕВОЙ СПЕЦИФИКИ НА ФИНАНСОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСБЫТОВОЙ КОМПАНИИ

Оценка финансового состояния имеет важное значение, как для руководства компании и её собственников, так и для контрагентов, инвесторов, банков, страховых компаний.

Анализируя бухгалтерскую отчетность, показатели ликвидности, финансовой устойчивости, деловой активности и рентабельности, необходимо учитывать, в первую очередь, специфику отрасли, в которой функционирует компания. Отраслевая специфика может проявляться в содержании бухгалтерской отчетности и оказывать влияние на финансовое состояние компании.

Целью работы является изучение влияния специфики энергетической отрасли на финансовое состояние компании. Объектом исследования выбрана крупная энергосбытовая компания ООО «Русэнергоресурс», обеспечивающая электроэнергией крупные промышленные предприятия (заводы, фабрики, комбинаты, угольные шахты).

В результате исследования был проведен анализ бухгалтерской отчетности компании и выявлены следующие особенности [1]:

- в структуре активов ресурсоснабжающих энергосбытовых компаний преобладают оборотные активы, которые представлены в основном дебиторской задолженностью и денежными средствами;
- в бухгалтерском балансе отсутствуют незавершенное производство и готовая продукция;
- в структуре пассивов преобладают заемные средства, представленные в основном кредиторской задолженностью перед поставщиками и подрядчиками, а также полученными авансами;
- в расходах по основной деятельности наибольший удельный вес имеют затраты по оплате покупной электроэнергии и мощности, а также услуги по передаче;
- в отчете о движении денежных средств характерна большая доля платежей за электроэнергию и мощность, а основные поступления связаны с оказанием услуг потребителям по ресурсоснабжению.

Перечисленные особенности бухгалтерской отчетности необходимо принимать во внимание при оценке финансового состояния компании и выработке управленческих решений.

Литература

1. Смирнова Д.А., Крыленко А.А., Крыленко Е.Е. Отраслевые особенности финансовой отчетности предприятий // Экономика и предпринимательство. 2023. № 7 (156). С. 979–981.

А.А. Мещеряков, асп.;
рук. О.О. Хамисов, к.т.н., доц. (Сколтех, Москва)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ: ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ВЫЗОВОВ И УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Получение максимально возможной выручки от экспорта стратегических продуктов и сырья, таких как топливно-энергетические товары, металлы и изделия из них, продукты химической и продовольственной промышленности, является одной из важнейших задач в рамках энергетической и экономической безопасности Российской Федерации [1, 2].

Целью данной работы является исследование различных методов и подходов к построению моделей экспортных потоков и их оптимизации в условиях геополитических вызовов и неопределенности, а также трансграничного углеродного регулирования.

В настоящем исследовании предлагается применение подходов к созданию дорожных карт энергоперехода для разработки модели экспортных потоков стратегических продуктов и сырья с учетом новых ключевых граничных условий, включая геополитические и экономические [3]. При этом учитывается, что торги происходят на нескольких рынках, а товары переносят свой углеродный след от одного рыночного игрока к другому. Методы математического моделирования и оптимизации применяются для поиска точки равновесия системы торгов, где каждый игрок стремится максимизировать свою выручку и сохранить рыночную долю.

Полученная система методов и подходов позволяет создавать модели для оптимизации экспортных потоков. Предполагается, что подобные модели в будущем могут применяться для формирования новых или уточнения существующих стратегических инициатив, регулирующих как внешнеэкономическую и геополитическую деятельность, так и внутренние инвестиционные программы различных промышленных секторов РФ.

Литература

1. **Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации.** [Электронный ресурс]. 2019. URL: http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy_doc/ (дата обращения: 18.11.2023).
2. **Указ Президента РФ от 13.05.2017 N 208** «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. 2017. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629/ (дата обращения: 18.11.2023).
3. **Technology Roadmap — A Guide to Development and Implementation, IEA.** [Электронный ресурс]. 2014. URL: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-a-guide-to-development-and-implementation> (дата обращения: 18.11.2023).

П.О. Колюхова, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

В условиях нарастающей потребности в чистой энергии и стремлении к снижению зависимости от невозобновляемых источников, солнечные электростанции (СЭС) становятся одним из ключевых направлений энергетического развития. Тем не менее, стохастический характер выработки электрической энергии СЭС создает вызовы для их широкого использования. Решением данной проблемы может стать применение систем аккумулирования мощности, вырабатываемой СЭС в часы пиковой генерации, для ее последующего использования в периоды низкой инсоляции. Резервирование энергии позволит повысить стабильность работы энергосистемы, путем выравнивания переменного графика выработки электростанции [1]. В условиях цифровизации энергетики и развития инновационных систем обслуживания и мониторинга СЭС, таких как умные инверторы, цифровые двойники, блокчейн и др., необходима новая система оценки работы энергосистемы, учитывающая современные технологии. Целью данной работы является разработка методики оценки экономической эффективности резервирования мощности на базе СЭС, применение которой на практике позволит сделать выбор наиболее подходящей системы аккумулирования, на основе ее характеристик и условий эксплуатации, а также оценить затраты на ввод систем аккумулирования и определить целесообразность их использования и наличие положительных экономических эффектов для проекта.

Объектом исследования являются энергетические системы на базе СЭС с применением систем аккумулирования мощности.

Предметом исследования выступает методика оценки экономической эффективности внедрения систем резервирования энергии СЭС.

В рамках работы были исследованы основные виды аккумуляторов энергии с использованием цифровых систем, а также был проведен анализ наиболее существенных характеристик существующих накопителей. На основе собранной информации были выявлены наиболее перспективные технологии для различных условий работы энергетической системы.

Литература

1. Сокут Л.Д., Муровская А.С., Курзо А.Н. Возможности повышения эффективности солнечных электростанций в объединенной электрической сети за счет применения накопителей энергии // Роль науки в развитии общества: Сб. статей Межд. научно-практ. конф. Уфа: Омега Сайнс. — 2017. — С. 70–73.

И.Г. Шувалов, асп.; рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ КОГЕНЕРАЦИИ И ТРИГЕНЕРАЦИИ ПРИ ТАРИФНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Регулирование тарифов и цен в условиях развития новых механизмов функционирования промышленности России является важной задачей государства, поскольку обеспечивает как возможность развития производства ключевых отраслей экономики, так и эффективное функционирование энергетики. Развитие же когенерации и тригенерации, как технологий и способа энергоснабжения — это возможность для промышленных предприятий комплексно решить вопросы энергообеспечения и один из способов диверсифицировать бизнес [1].

При существующей системе тарифного регулирования в пределах действующих четырех методов тарифообразования (затратный, аналогов, доходности инвестированного капитала и индексации) схема взаимодействия с потребителями через региональные органы ФАС является весьма формализованной и отработанной годами. Процессы регулирования вписаны в календарный, финансовый год и находят своё отражение в документах, а как результат, и в финансовых потоках энергокомпаний и потребителей.

В пределах проведенного исследования поднимается вопрос регулирования потоков платежей и выручки от различных видов деятельности интегрированного бизнеса, использующего технологии когенерации и тригенерации.

По итогам проведенного исследования в состав эффекта применения данных технологий входят прибыль (экономия) от каждого вида интегрированной деятельности, экономия энергоресурсов по видам продукции, а также мультипликативный эффект развития инфраструктуры региона и операционная экономия на регулировании в рамках тарифного законодательства.

Экономия от использования технологий когенерации/тригенерации оценочно может составлять 15% от тарифной нагрузки, складывающихся из экономии на совмещении трудовых функций операционного и ремонтного персонала энергетического хозяйства, снижении энергопотерь и отсутствии нормы прибыли от продаж энергии на рынке.

Таким образом, предложенные подходы к оценке эффективности тригенерации и когенерации позволяют выявить экономию при формировании финансовых потоков интегрированного энергобизнеса.

Литература

1. Шувалов И.Г., Смирнова Д.А., Абрамова Е.Ю. Экономико-математическая модель оценки экономического эффекта диверсификации энергобизнеса на основе инвестиционного анализа // «Финансовый бизнес», № 9, 2023 с. 107–112.

М.И. Новикова, студ.; В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АО «СУЭК-КУЗБАСС»

В современных условиях глобализации и постоянного технического прогресса актуальным является задача обеспечения соответствия продукции требованиям рынка, что может быть достигнуто, в том числе за счет расширения экономической деятельности; совершенствования применяемых технологий. Целесообразность инвестиций в развитие обосновывается результатами оценки экономической эффективности возможной реконструкции или модернизации технологического оборудования организации [1].

Одной из главных задач каждого предприятия является повышение эффективности производственной деятельности и качества продукции, что возможно в т.ч. за счет применения новых технологий.

В работе было рассмотрено предприятие АО «СУЭК-Кузбасс». Данная компания является крупнейшим в России угольно-энергетическим предприятием и одним из лидеров в мировой угольной отрасли. По объемам добычи угля стабильно занимает лидирующую позицию в России, так как ежегодно добыча в среднем превышает 30 миллионов тонн. Лучший достигнутый результат — 38,2 миллиона тонн. На экспорт направляется две трети добытого высококачественного угля. При этом общие запасы угля составляют более 2,5 миллиарда тонн [2].

В работе была рассмотрена возможность модернизации используемой в производственной деятельности технологии. В процессе выполнения работы был определен размер необходимых для реализации проекта инвестиций и изменение величины текущих эксплуатационных затрат, а также рассчитаны критерии оценки экономической эффективности.

В результате проведенных расчетов и анализа было установлено, что проект является экономически эффективным и рекомендуется к реализации. За счёт проведенных мероприятий и сравнения результатов экономической оценки была разработана стратегия модернизации АО «СУЭК-Кузбасс», что позволило понять какие усовершенствования экономически целесообразно осуществлять для компании и каким проектам стоит отдать предпочтение в первую очередь.

Литература

1. **Щевьева В.А.** Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. — М.: Изд. дом МЭИ, 2008. — 232 с.
2. **Промышленность Кузбасса** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://vvk-kuzbass.ru/predpriyatiya/suek-kuzbass/>

А.А. Гордова, студ.; рук. А.Ю.Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА «СТРОИТЕЛЬСТВО СЕЛЕМДЖИНСКОЙ ГЭС» НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

В последнее время заметно возрастает предпочтение использования возобновляемых источников энергии, что отчетливо проявляется в текущих тенденциях. Компании, обеспечивающие потребителей на Дальнем Востоке электроэнергией, вырабатываемой на дизельных электростанциях, ощущают настоятельную потребность в переходе на возобновляемые источники энергии. При этом гидроэлектростанции обеспечивают примерно 16% всемирного производства электроэнергии.

Объектом исследования является проект по строительству Селемджинской ГЭС. Цель проекта строительства Селемджинской ГЭС помимо производства экологически чистой энергии — предотвращение разрушительных наводнений в бассейне Амура путем задержания паводкового стока в водохранилищах. Цель исследования оценка эффективности строительства Селемджинской ГЭС с учетом ее социальной значимости для региона.

В таблице 1 представлена примерная структура инвестиционных затрат на осуществление проекта [1].

Таблица 1. Структура инвестиционных затрат

№ п/п	Наименование статьи затрат	%
1.	Инвестиционные затраты	100
1.1	Проектно-изыскательские работы	8
1.2	Строительно-монтажные работы	44,2
1.3	Оборудование	11,2
1.4	Здания и сооружения	13
1.5	Получение разрешительной документации	-
1.6	Пуско-наладочные работы	4,4
1.7	Прочие	18,6

Несмотря на высокие инвестиционные затраты, инвестиции в проект могут окупиться в среднесрочной или долгосрочной перспективе.

Можно сделать вывод, что инвестиционный проект «Строительство Селемджинской ГЭС» является стратегически значимым для организации и имеет важное социально-экономическое значение для развития энергетической программы Амурского района.

Литература

1. **Козлов А.Н.** Гидроэнергетика в территориальной структуре топливно-энергетического комплекса амурской области // Вестник АмГУ. — г. Благовещенск : выпуск 97, 2022. — С. 85.

О.Г. Коновалова, ст. преп.;
рук. Е.М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТРАТЕГИЯ ВЫНУЖДЕННОГО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ОТРАСЛИ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Сложившаяся экономическая и геополитическая ситуация приводит к необходимости реализации стратегий импортозамещения в ключевых отраслях промышленности с целью обеспечения национальной безопасности. Одной из ключевых отраслей, требующих разработки и реализации программы вынужденного импортозамещения в условиях санкционной политики является энергомашиностроение [1].

На данный момент в отрасли сохраняется высокая доля импорта газовых (68%), газопоршневых и гидравлических турбин (30%), генераторов (15%), котлоутилизаторов (16%), трансформаторов (53%), выключателей (40%), систем накопления энергии, преобразователей. Ключевыми среди них являются отечественные экономичные газовые турбины большой мощности и парогазовые установки (ПГУ) на их основе. При этом Минэнерго России отмечает высокий уровень риска неосвоения данной технологии в производственных масштабах в ближайшей перспективе. На данный момент в генерации было замещено на отечественные энергоустановки только 8,3% мощности (около 20 ГВт). Для преодоления данной ситуации и снижения риска предлагается разработать стратегию импортозамещения на основе замены газового цикла на другую значительно более освоенную технологическую цепочку — паровой цикл.

Несмотря на высокий КПД ПГУ, реальная экономичность тепловых электростанций на их основе может быть существенно меньше в сравнении с ПТУ из-за низкого ресурса работы высокотемпературного газотурбинного блока по сравнению с паротурбинной установкой. Также возможно существенно повысить КПД ПТУ за счет дальнейшего увеличения начальных параметров теплоносителя и получить почти ту же экономичность, которая характерна для современных ПГУ. Таким образом, с учетом необходимости реализации стратегии импортозамещения, планирование развития большой энергетики на основе совершенствования технологий парового цикла является весьма перспективным.

В качестве инструмента реализации стратегии рассматриваются программы на заключение договоров поставки мощности, что требует интенсификации партнерских отношений энергомашиностроительных и генерирующих предприятий.

Литература

1. Лисин Е.М., Курдюкова Г.Н., Коновалова О.Г., Замешаева И.С. Исследование конкурентоспособности инновационных решений в области использования водородного топлива на тепловых электростанциях // Экономика и предпринимательство. — 2021. — № 9 (134). — С. 855–861.

А.В. Мартынов, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ НА КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Гарантия бесперебойного функционирования энергетической отрасли является одним из важных приоритетов государственной политики, ведь именно она является основой безотказной работы промышленных предприятий, высокого уровня жизни населения, что впоследствии ведет к увеличению темпов роста экономики страны.

Правительство разработало программу ДППМ-1, которая стимулировала строительство новых современных электрогенерирующих мощностей. За ней последовала программа ДППМ-2 (КОМмод), которая направлена на модернизацию самых старых тепловых генерирующих электрических мощностей (старше 45 лет) с целью снижения операционных затрат и повышения топливной эффективности. Абсолютным лидером среди победителей пятилетних отборов (всего в списке — 20 энергокомпаний) стало ПАО «Интер РАО». Эта госкомпания управляет основными ГРЭС в стране, и на данный момент ей досталось 8,45 ГВт, или 40% от всего объема отборов.

Первым объектом, обновленным в рамках программы «КОМмод», стал энергоблок №8 Костромской ГРЭС (станция действует в статусе филиала АО «Интер РАО — Электрогенерация», которое объединяет российские генерирующие активы группы). Проведенные работы позволили не только продлить ресурс оборудования на двадцать пять лет, но и существенно улучшить показатели эффективности ГРЭС. В результате удельный расход условного топлива на производство электроэнергии здесь снизился на 10–12 граммов на киловатт-час, а установленная мощность восьмого блока, вернувшегося в строй в декабре 2021 года, увеличилась до 330 мегаватт.[1]

Ныне произведенная модернизация энергоблоков на Костромской ГРЭС оказала следующее влияние: мощность Костромской ГРЭС достигла 3660 МВт.

До 2027 на Костромской ГРЭС планируется модернизировать еще 6 блоков. К моменту реализации всех проектов мощность ГРЭС увеличится на 180 МВт. Целью работы является экономическое обоснование реконструкции энергоблоков путем расчета технико-экономических показателей проекта и оценки экономической эффективности, по итогам которой можно будет определить срок окупаемости данного проекта.

Литература

1. ИНТЕР РАО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЯ : сайт. — URL: <https://irao-generation.ru/about/> (дата обращения: 01.12.2023)

Р.А. Нагорный, асп.;
рук. Е.М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ ГТЭС НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Газотурбинная электростанция (ГТЭС) относится к высокотехнологичным энергетическим объектам, осуществляющих выработку электроэнергии и тепла на основе сжигания и нагревания до высокой температуры природного газа. В состав ГТЭС входит газотурбинная установка, состоящая из компрессора, камеры сгорания, газовой турбины и электрогенератора, а также вспомогательное оборудование. В общем они определяют капитальные затраты генерации.

Другой важной экономической характеристикой оборудования ГТЭС является эксплуатационная экономичность. Эксплуатационная экономичность представляет собой разницу в операционных затратах, возникающую вследствие выбора альтернативного агрегата [1].

При отборе для ГТЭС генерирующего оборудования сопоставимой мощности затраты на персонал не меняются. Это также справедливо для прочих затрат, которые можно определить нормативным способом от себестоимости производства энергетической продукции. Также установки сходной мощности обладают идентичным ресурсом работы и требуют одинакового количества ремонтов. Таким образом, эксплуатационную экономичность, будут определять топливные издержки и амортизация.

Данный факт позволил авторам заключить, что в соответствии с методом сравнительной стоимости преимущества в себестоимости производства энергетической продукции для ГТЭС с выбранной конфигурацией оборудования будут достигаться выигрышем в эксплуатационной экономичности, на которую будет оказывать влияние стоимость оборудования и его технологический уровень соответственно через амортизацию и КПД. Это позволяет для оценки сравнительной эффективности инновационно-инвестиционных проектов сформировать новую методiku, основанную на параметрических процедурах статистического анализа, которая значительно упростит процедуру технико-экономического обоснования проектов, ограничив выбор эффективного оборудования сравнением лишь ограниченного числа технико-экономических параметров.

Литература

1. **Киндра В.О., Лисин Е.М., Дудолин А.А., Герасименко И.И.** Разработка высокоэкономичных тепловых схем ГТУ-ТЭЦ при проектировании ресурсосберегающих энергосистем // Новое в российской электроэнергетике. — 2020. — № 10. — С. 24–36.

Е.А. Телицына, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ ПС 220/10 КВ

Электрическая подстанция представляет собой ключевой узел электроэнергетической системы, в которой энергия преобразуется до адекватных уровней напряжения с целью ее транспортировки, распределения или потребления.

Развитие любого сектора экономики, потребляющего электрическую энергию, требует дополнительных инвестиций в строительство электрических подстанций и иных элементов энергетической системы.

В последние годы перед компаниями в электроэнергетическом секторе по всему миру стоит задача внедрять новые технологические разработки на своих объектах для улучшения услуг по электроснабжению, стремясь к лучшему качеству и ценовым условиям. Поэтому подобные проекты представляют собой сложные планы, масштаб которых может охватывать не только отдельные предприятия, но и города, а также целые регионы [1].

Энергетическая стратегия России на период до 2035, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. №1523-р, являясь преемственной по отношению к предыдущим документам, опирается на принципиально иной методологический подход, повышающий ее устойчивость даже в условиях высокой неопределенности будущего. При разработке настоящей Стратегии учитывалась принципиальная связь развития энергетики и обеспечения национальной безопасности, прежде всего энергетической безопасности [2].

В работе был рассмотрен проект по реконструкции ПС 220/10 кВ. Реконструкция обусловлена моральным и физическим износом оборудования (срок службы более 25 лет). [1]

В процессе выполнения работы была рассмотрена возможность модернизации используемой в производственной деятельности технологии. Был определен размер необходимых инвестиций и изменение величины текущих эксплуатационных затрат, а также рассчитаны критерии оценки экономической эффективности.

Литература

1. Официальный сайт ПАО «Россети Московский регион» [Электронный ресурс] — URL: <https://rossetimr.ru>
2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс] — URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>

Направление VIII

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

И ТЕПЛОФИЗИКА

Nuclear energy and thermophysics

Руководитель направления:

Директор института тепловой
и атомной энергетики НИУ «МЭИ»

д.т.н., член-корр. РАН

Дедов Алексей Викторович

Секция 41

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И УСТАНОВКИ

Nuclear power plants and installations

Председатель секции: к.г.н., доцент Хвостова Марина Сергеевна

Секретарь секции: к.т.н. Каверзнев Михаил Михайлович

А.М. Акимова, студ.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭВОЛЮЦИЯ САОЗ РУ ТИПА ВВЭР И ПУТИ ЕЁ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Пассивная часть системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ) впервые появилась в составе реакторной установки (РУ) типа ВВЭР в проекте В-213 энергоблока ВВЭР-440 АЭС Ловиииса (1971 год). На сегодняшний день САОЗ — неотъемлемый элемент РУ, итогом эволюции которого стал проект ВВЭР-ТОИ с пассивной частью САОЗ состоящей из гидроемкостей (ГЕ) трех ступеней с автономностью 72 часа.

Компьютерное моделирование показывает, что для блока ВВЭР-1000 в условиях максимальной проектной аварии (МПА) с полным обесточиванием и отказом активной части САОЗ примерно через 40 секунд после исчерпания запаса воды в ГЕ [1] наступает устойчивый разогрев топлива и уже на 1100 секунде начинается плавление оболочек твэлов [2]. При этом особенности подачи воды в реактор (над и под АЗ) приводят к тому, что часть воды будет выброшена из реактора и не будет участвовать в охлаждении топлива. Более того, повторный залив АЗ не гарантирует восстановления охлаждения топлива, так как вода, при существующей схеме ее подачи, может не дойти до каждого твэла.

В работе предложены варианты схемы и способа подачи воды из ГЕ САОЗ в АЗ, позволяющие уменьшить выброс охлаждающей воды из АЗ в условиях МПА и обеспечить более надежную подачу воды в каждый участок АЗ даже в ситуации повторного залива.

Предварительные оценки показывают, что предложенные варианты позволяют увеличить надежность охлаждения АЗ и время работы САОЗ при неизменном запасе воды и/или уменьшить объем/число ГЕ при неизменном времени работы, тем самым повысив безопасность и улучшив экономику проекта.

Литература

1. **Самохин Д.С., Чулкин А.А.** Использование компьютерных кодов RELAP\SCDAP и MELCOR для анализа управления авариями ВВЭР-1000 // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2013. — № 2. — С. 47–56.
2. **Щеколдин В.В., Пантюшин С.И., Сорокин Ю.С.** Анализ аварий с плавлением активной зоны РУ ВВЭР по кодам СОКРАТ/В1 и RELAP/SCDAPSIM: дис. 6-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ «ГИДРОПРОЕСС», Подольск, Россия, 2009. — 19 с.

Е.С. Сарычев, асп. (НИУ «МЭИ»), м.н.с. (НИЦ «Курчатовский институт»);
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА MARVIKEN АТТ-4, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ПЕРЕНОС АЭРОЗОЛЕЙ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС

Для обоснования безопасности АЭС применяются различные расчетные коды, тестируемые на экспериментальных данных. В данной работе промоделирован эксперимент Marviken АТТ-4 [1], который проводился на стенде, имитирующем реакторную установку. Он состоял из корпуса реактора, нагнетателя давления, фильтра и разгрузочного бака. Основными целями эксперимента было создание базы данных о свойствах аэрозолей и летучих продуктов деления посредством имитации тяжелой аварии, присущей реакторной установке типа PWR. Расчет был выполнен с использованием программного средства МАВР-ТА [2] и в последствии было проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных для серебра, цезия, йода, марганца и теллура.

Было проанализировано влияние учета логнормального распределения аэрозолей по размерам на полученные результаты расчета. Выполнена оценка погрешности модели, а также проведен анализ чувствительности модели к экспериментальной погрешности и неопределенности расчета. Продемонстрировано влияние изменения параметров на конечные результаты с помощью коэффициентов ранговой корреляции.

Расчетные результаты, полученные с помощью кода МАВР-ТА качественно соответствуют экспериментальным данным (рисунок 1). Погрешности модели варьируются от 2 до 30% в зависимости от вещества и размерной группы аэрозолей. Температура стен установки и расход ПД оказывают высокое влияние на конечные результаты расчета.

Литература

1. **Kmetyk L.N.** MELCOR 1.8.1 Assessments: Marviken-V Aerosol Transport Tests АТТ-2b/АТТ-4 SAND92-2243, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1993.
2. **Shmelkov Yu.B., Zvonarev Yu.A., Shutov N.V., Petrov L.V.** Development and validation of the MAVR-TA code for analyzing the release and transport of fission products during a severe accident at a VVER NPP. Part 2 — Modelling of the fission products transport in the primary circuit and inside the containment // Nuclear Engineering and Design. 2021. V. 382, 111377.

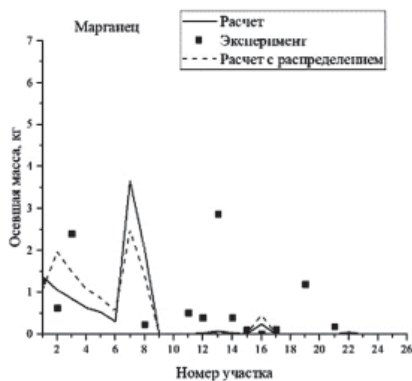


Рис. 1. Осажденная масса марганца на стенках установки

И.А. Никитченко, асп.;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ

При расчетах на прочность оборудования АЭС широко используются расчетные коды и программные комплексы. Во всех расчетных программах используются различные эмпирические модели и методы, что приводит к погрешностям расчетов и требует учета неопределенности этих параметров. Особенно много таких параметров используется в расчетах на сопротивление хрупкому разрушению корпуса реактора ВВЭР. Схожая методика используется для прогнозирования эрозионно-коррозионного износа в [1].

В данной работе рассматривался расчет на прочность корпуса реактора ВВЭР как при отсутствии, так и при наличии различных дефектов металла. Расчеты проводились с использованием расчетного кода ANSYS Mechanical [2]. Для моделирования диаграммы растяжения использовалась диаграмма билинейного кинематического упрочнения, в соответствии с [3]. Рассматривались различные участки корпуса реактора и отслеживалось изменение напряженно-деформированного состояния при росте дефекта.

Затем была проведена разработка методики для моделирования данных расчетов с помощью нейросетевой метамодел. Необходимость и актуальность данной методики обусловлена, с одной стороны всё более ужесточающимися требованиями к безопасности АЭС, а с другой стороны необходимостью снижения человеческого фактора. Одним из наиболее подходящим под данные критерии инструментов являются нейронные сети, находящие всё более широкое применение в ядерной энергетике.

Разработанная методика позволяет более точно прогнозировать подрастание различных дефектов металла, особенно на больших сроках эксплуатации корпуса реактора.

Данная методика может использоваться для прогнозирования распределения размеров и местоположения различных дефектов в корпусах реактора ВВЭР и срока подрастания дефекта до критических размеров, таким образом, прогнозируя срок и вероятность разрушения.

Литература

1. А.Д. Вишнякова, О.М. Гулина, Н.Л. Сальников «Возможность применения аппарата нейронных сетей для прогнозирования ЭКИ оборудования АЭС. «Известия вузов. Ядерная энергетика», 2015 г., № 4, с. 61–71.
2. Программный комплекс ANSYS Mechanical, версия 14.0. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 327 от 18.04.2013.
3. ГОСТ Р 59115 Расчет на сопротивление хрупкому разрушению корпусоводо-водяного энергетического реактора. — М.Энергоатомиздат, 1989.

А.С. Никулин, асп.; рук. В.И. Мелихов, проф. (НИУ «МЭИ»)

ВАЛИДАЦИЯ КОДА STEG С МОДУЛЕМ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА КОНЦЕНТРАЦИИ ПЛОЩАДИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

На кафедре АЭС разработан расчетный код STEG, предназначенный для моделирования движения пароводяной среды в объеме горизонтального парогенератора (ПГ) на основе подхода, использующего балансовые уравнения массы, импульса и энергии для воды и пара, дополненные полуэмпирическими корреляциями для описания силового и теплового взаимодействия фаз между собой и с окружающими конструкциями (трубные пучки, погружной дырчатый лист (ПДЛ) и т.п.).

В коде STEG для определения концентрация площади межфазной поверхности использовалась карта режимов течения и соотношения для диаметра пузырьков. Целью данной работы было проведение валидации кода STEG с модулем расчета концентрация площади межфазной поверхности по результатам экспериментов, а также сравнение с результатами расчета кода TRACE-T.

В [1] были выполнены экспериментальные исследования переноса концентрации межфазной поверхности в водо-воздушных потоках при атмосферном давлении. Использовалась вертикальная труба диаметром 48,3 мм и длиной 3 метра. Параметры расчёта были следующие: скорость жидкости 5,10 м/с, скорость газа 0,538 м/с, объёмная доля газа 0,1.

В результате валидационных расчетов было отмечено, что кода STEG с модулем расчета концентрация площади межфазной поверхности качественно и количественно воспроизводит эксперименты с максимальной погрешностью не более 13%. Наибольшее отклонение от экспериментальных данных объемной доли газовой фазы наблюдалось в первых расчетных ячейках и далее только снижалось, в свою очередь результаты кода TRACE-T показывали обратную тенденцию. Также применение модели переноса концентрация площади межфазной поверхности позволила снизить погрешность расчетов более чем на 7% относительно результатов, полученных с помощью кода STEG с картой режимов потока.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00793, <https://rscf.ru/project/22-19-00793/>

Литература

1. **Ishii M., Kim S. and Uhle J.**, Interfacial Area Transport: Data and Models // OECD/CSNI Workshop on Advanced Thermal-Hydraulics and Neutronics Codes: Current and Future Applications, April 10–13, 2000, Barcelona, Spain (2000).

*Д.Д. Курицин, Д.С. Николаев, студенты; А.В. Рязанов, соиск.;
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВС С ПС СУЗ ВТГР

Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) являются перспективными атомными энергоисточниками, способные в штатном режиме нагревать теплоноситель до температуры 1000°С, что может позволить обеспечить высокопотенциальным теплом многие энергоемкие технологические процессы как в нефтепереработке, так и в химической промышленности, в частности в производстве водорода.

На этапе проектирования новых реакторных установок ключевой задачей является создание активной зоны, обеспечивающей высокие технико-экономические показатели, в сочетании с необходимым уровнем безопасности.

На текущий момент нет точных экспериментальных данных по распределению локальных скоростей и расходов теплоносителя в каналах охлаждения и ПС СУЗ топливной сборки ВТГР.

Авторы провели работу по обоснованию конструкции экспериментального стенда для исследования гидравлических характеристик поглощающего стержня СУЗ ВТГР.

Предварительная оценка параметров стенда была произведена путем численного и экспериментального моделирования на упрощенной модели ТВС с ПС СУЗ.

В ходе исследования были выбраны определяющие критерии подобия, оказывающие наибольшее влияние на изучаемый процесс и выработаны требования к экспериментальному стенду. В частности, был определен оптимальный масштаб экспериментальных моделей — 1:1.

Во время проведения эксперимента расход рабочей среды составляет до 1 м³/с, перепад давления до 15 кПа. Такие параметры позволяют моделировать режимы течения теплоносителя в активной зоне реактора при штатных числах Рейнольдса.

Литература

1. **Баринов А.А., Дмитриев С.М., Хробостов А.Е.** Методы обоснования теплотехнической надежности активной зоны тепловых водо-водяных реакторов / А.А. Баринов, С.М. Дмитриев, А.Е. Хробостов // Атомная энергия. — 2016. — Т. 120. — № 5. — С. 270–276.

*С.Ю. Воробьева, студ.;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ СМЕСИ РАДИОЛИТИЧЕСКИХ ГАЗОВ В РУ ВВЭР-1000

В оборудовании первого контура реакторных установок (РУ) типа ВВЭР может выделяться водород вследствие процесса радиолитического распада теплоносителя и создавать взрывоопасные смеси.

Основной задачей исследования была оценка расхода водорода с поверхности теплоносителя и расчет времени образования взрывоопасной концентрации радиолитических газов в объемах под крышкой реактора и у выходных патрубков при уточненном расходе водорода.

Расчеты проводились с использованием кодов вычислительной гидродинамики (CFD): CFX, STAR-CCM+. В докладе рассмотрена задача для стационарного режима.

Использовались статьи, основанные на проведенных экспериментах, в которых представлена методика оценки коэффициента массоотдачи для газов, например [1]. На их основе были получены необходимые показатели водной среды, исследована сеточная сходимость и определен коэффициент массоотдачи, определяемый процессами в водяном объеме. В результате вариантных расчетов и проверки на сеточную сходимость было найдено оптимальный размер расчетной сетки и получена оценка расхода водорода.

Далее была построена модель корпуса реактора объемом от крышки до уровня теплоносителя между входным и выходным патрубком. Чехлы стержней средств управления и защиты (СУЗ) и внутрикорпусные устройства представлены геометрическими телами. В качестве начальных условий задан полученный ранее массовый расход водорода с поверхности воды. Принято, что три центральных чехла СУЗ разгерметизированы и через них может как поступать в объем реакторной установки кислород, так и выходить наружу водород. Рассматривалась задача конвекции, распределение водорода и кислорода по объему.

В результате расчетов были выявлены места накопления водорода и кислорода (в частности, у выходных патрубков и у верхней плиты блока защитных труб (БЗТ)). Было обнаружено, что лимитирующим фактором для образования взрывоопасной концентрации смеси является выход водорода с поверхности теплоносителя. Как итог, было рассчитано время достижения опасной концентрации гремучей смеси. Точность по невязкам основных уравнений сохранения поддерживалась порядка 10^{-4} , параметр $u+$ — порядка 13.9.

Литература

1. **H. Herlina, J.G. Wissink**, Direct numerical simulation of turbulent scalar transport across a flat surface. *J. Fluid Mech.*, 2014, vol 744, стр. 217–249.

Абди Хоссейн, асп.;
рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф.(НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ГИДРОДИНАМИКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ КОДА STEG

Выполнен расчетный анализ с помощью кода STEG (STeam Generator) [1] экспериментов по исследованию гидродинамических процессов в горизонтальном парогенераторе [2]. Основные компоненты установки: трубный пучок, погруженный дырчатый лист с закраинами и опускной канал. Движение водовоздушной среды в модели осуществлялось за счет естественной циркуляции. Измерение объемного газосодержания проводилось методом γ -просвечивания.

Были выполнены расчеты кодом STEG девяти экспериментальных режимов, различающихся степенью перфорации погруженного дырчатого листа (7,5% и 20%) и расходом подаваемого воздуха. Установлены качественные закономерности циркуляции двухфазной водовоздушной среды в модели горизонтального парогенератора и влияние основных экспериментальных параметров.

Результаты моделирования, выполненного программой STEG, хорошо согласуются с результатами, полученными в экспериментах [2] и относительные погрешности расчета объемной доли воздуха и перепадов давления не превышают 10%, рис. 1.

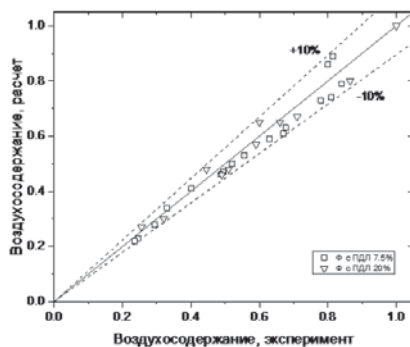


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

Литература

1. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Ле Т.Т. Экспериментально-расчетные исследования гидродинамических процессов в горизонтальном парогенераторе — М.: Наука, 2022. — 213 с.
2. Колбасников А.В. Разработка методов расчета гидродинамики двухфазной среды и теплообмена в поперечно омываемых поверхностях нагрева парогенераторов на основе экспериментальных исследований: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — М.: ОАО ВТИ. — 2000. — 216 с.

*В.С. Костарев, асп.; рук. А.М. Панкин, д.т.н., проф.
(СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург)*

О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВОДО-ВОДЯНОГО РЕАКТОРА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ ДЕТЕКТОРОВ ПРЯМОГО ЗАРЯДА

В реакторах ВВЭР для получения распределения нейтронного потока в активной зоне используются детекторы прямого заряда (ДПЗ), в частности, родиевые ДПЗ [1].

При переходных процессах показания родиевых ДПЗ будут не пропорциональны нейтронной мощности активной зоны в месте расположения детектора по причине инерционности таких ДПЗ, что приводит к возрастанию погрешности в оценке поля энерговыделения реактора [2–3].

Авторами предлагается для определения инерционности родиевого ДПЗ использовать расчетную программу, написанную в программной среде пакета Matlab. Вычисленные в основной расчетной программе значения передаются на осциллографы во вспомогательной программе в пакете LabVIEW.

Предлагаемый авторами пакет программ позволяет решить задачу корректировки токов ДПЗ путём определения в каждый рассматриваемый момент времени доли мгновенного тока в общем сигнале ДПЗ.

В настоящий момент авторами проводится валидация программы на опытных данных с Ленинградской АЭС. Ожидается, что откорректированные при помощи предлагаемой авторами программы показания ДПЗ будут отличаться от полученных опытным путем не более, чем на 5%. Использование созданного пакета программ вместе с программами расчета активной зоны позволяет подойти к решению задачи оценки изменения размножающих свойств в отдельных частях активной зоны в процессе выгорания тепловыделяющих элементов.

Литература

1. Мительман М.Г., Дубовский Б.Г., Любченко В.Ф. Детекторы для внутриреакторных измерений энерговыделения. М.: Атомиздат, 1977.
2. Бурьян В.И., Козлова Л.В., Кужиль А.С., Шикалов В.Ф. Математическая модель родиевых ДПЗ и алгоритмы коррекции их инерционности // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2005. №1 (13).
3. Панкин А.М., Калютик А.А., Костарев В.С. Контроль состояния датчиков прямого заряда системы внутриреакторного контроля ядерного реактора в динамических режимах // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26. № 3.

*Д.С. Николаев, Д.Д. Курицин, студенты;
Т.Д. Демкина, асп.; А.А. Добров, соиск.;
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ГАЗА В НИЖНЕМ СОБИРАЮЩЕМ КОЛЛЕКТОРЕ ВТГР

При разработке проекта высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) как источника высокопотенциального тепла в составе атомной энерготехнологической станции для производства водорода, одной из ключевых задач является обоснование теплотехнической надёжности реактора в целом и его элементов в частности. Одна из приоритетных задач при этом связана с неравномерностью энерговыделения в активной зоне реактора, в результате чего в нижний собирающий коллектор поступают струи гелиевого теплоносителя с различной температурой, что может сказываться на ресурсе теплообменного оборудования первого контура.

В настоящее время в НГТУ им. Р.Е. Алексеева ведется монтаж экспериментального аэродинамического стенда, позволяющего моделировать процессы неизотермического перемешивания потоков гелия на выходе из призматической активной зоны ВТГР в нижний собирающий коллектор и далее в горячий газоход. Обоснование представительности модельных исследований потребовало анализа определяющих процесс критериев подобия, определения зависимых безразмерных величин и чисел подобия, выбора и обоснования масштаба экспериментальной модели.

В рамках проеденной работы в анализе подобия в качестве определяющих были учтены следующие критерии подобия: Рейнольдса, Пекле, Грасгофа, Струхала, Маха и Эккерта, а также параметрические критерии подобия, представляющие собой отношение одноименных свойств теплоносителя при максимальной и минимальной входной температуре. Определяемыми величинами в таком случае стали число Эйлера, безразмерная температура и безразмерная скорость.

Были выбраны оптимальные параметры стенда и модели, в наибольшей степени удовлетворяющие условиям подобия. В работе было определено, что при использовании воздуха при атмосферном давлении, масштабе модели 1:2,5, числе Рейнольдса $1 \cdot 10^6$ и температурной неоднородности на входе 28-61 °С поля безразмерной скорости и безразмерной температуры будут одинаковыми с натурными условиями (гелий, число Рейнольдса $1,84 \cdot 10^6$, температурный диапазон на выходе из активной зоны 77901 °С).

О.В. Яковлева, соиск.; рук. Ю.Б. Шмельков, к.т.н., зам. нач. отд.
(НИЦ «Курчатовский институт»)

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ПОДЪЕМА И ДИСПЕРСИИ ФАКЕЛА ВЫБРОСОВ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ПРИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ НА АЭС С ВВЭР

Одной из задач обоснования безопасности работы АЭС является анализ возможных сценариев тяжелых запроектных аварий с точки зрения выхода радиоактивных продуктов деления (ПД) в окружающую среду. Для оценки радиационных последствий необходимо определить концентрацию ПД в конкретной точке местности, а также возможную дозу облучения людей на территории загрязнения для планирования мероприятий по защите населения. В настоящее время наиболее часто используемыми дисперсионными моделями являются стационарные модели гауссового шлейфа. Для эффективного прогнозирования распространения загрязнений необходимо корректно и точно определить два основных параметра: подъем факела выброса и коэффициенты дисперсии.

Целью работы является валидация различных моделей подъема выбросов и формул дисперсий на экспериментальных данных [1]. Результаты расчета представлены в виде зависимостей от расстояния с подветренной стороны от источника: на рисунке 1.а — высоты подъема факела, а на рисунке 1.б — дисперсии. Наилучшая сходимость для высоты подъема факела наблюдается для модели Неттервилла, а для дисперсии — для расчетов по модели из ОПБ-84.

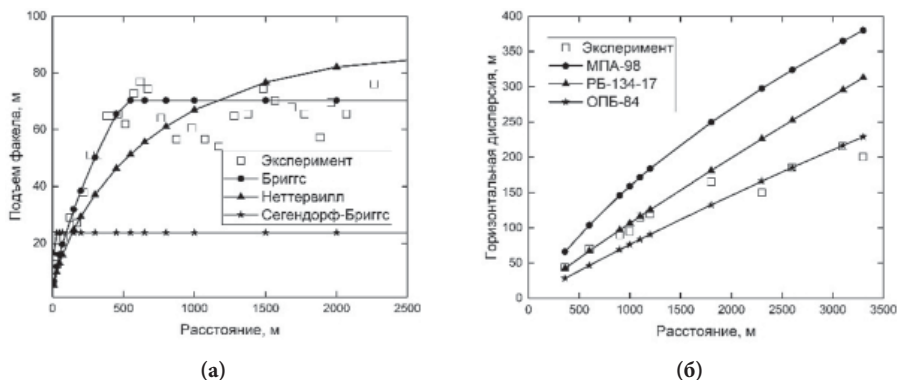


Рис. 1. (а) Сравнение расчетных и экспериментальных данных по высоте подъема факела выброса и (б) вертикальных дисперсий

Литература

1. **Maro D.** Transfert des radionucléides sous forme de gaz et d'aérosols dans les environnements complexes: études expérimentales de dispersion atmosphérique et d'échanges aux interfaces. ISBN 987-2-9545237-0-5, 2013.

Я.А. Горбунова, студ.; рук. В.Д. Локтионов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИПА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ ЧИСЕЛ НУССЕЛЬТА НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ВАННЫ РАСПЛАВА КОРИУМА ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В РУ ВВЭР

Представлен сравнительный анализ результатов по определению теплового состояния двухслойной стратифицированной ванны расплава кориума в РУ ВВЭР-1000 в условиях тяжелой аварии (ТА), найденных с использованием модифицированных [1, 2] и известных [3] соотношений для чисел Нуссельта для боковой и нижней поверхностей слоя расплава стали, расположенного над оксидной тепловыделяющей фазой расплава. Тепловое состояние ванны расплава определялось с помощью разработанной программы “POOL_Q-3”, позволяющей определить температуры фаз расплава, а также параметры теплообмена и величины тепловых нагрузок на границах ванны расплава при ТА. Рассматривались два сценария ТА, отличающихся условиями теплообмена на верхней поверхности ванны расплава. Анализ полученных результатов показал значительные отличия в значениях параметров теплоотдачи на нижней (до 40%) и боковой (до 30%) поверхностях слоя расплава стали, определенных с использованием модифицированных и известных корреляций для чисел Nu. Наибольшая разница между этими значениями наблюдалась в случае ухудшенных режимов теплоотвода на верхней поверхности слоя расплавленной стали и при значениях аспектного числа не превышающих 0.3. Используемый в работе подход, основанный на использовании модифицированных соотношений для чисел Nu [1, 2], является новым и ранее не использовался для оценки тепловых нагрузок на корпус ЯЭУ при ТА. Целесообразно проведение экспериментальных исследований для проверки работоспособности полученных модифицированных корреляций [1, 2] для чисел Nu.

Литература

1. **Loktionov, V.**, 2024. “Modified correlations for the Nusselt numbers at the boundaries of a bottom-heated molten metal layer in a stratified corium melt pool and an assessment of heat transfer conditions during a severe accident”. Nuclear Engineering and Design. No. 112760. (2024). p. 13.
2. **В.Д. Локтионов** Модифицированное соотношение для чисел Нуссельта на боковой поверхности плоского металлического слоя расплава, нагреваемого снизу / Теплоэнергетика, № 12, 2023. — с. 65–76.
3. **Theofanous, T.G., Liu, C., Additon, S., Angelini, S., Kymäläinen, O., Salmassi, T.**, 1996. In vessel Coolability and Retention of a Core Melt. DOE/ID-10460. U.S. Department of Energy Vol. 1. p. 441.

А.В. Аванов, асп.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВИБРОПРОЧНОСТЬ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА АЭС С ВВЭР



Рис. 1. Расчетная модель

В настоящее время для расчетов на прочность оборудования в атомной энергетике широко используются расчетные коды типа [1], реализующие метод конечных элементов.

Согласно [2] необходимо проводить расчет на прочность трубопроводов от воздействий вибрационных нагрузок по формулам, представленным в данном документе. Профессором НИУ МЭИ К.Н. Проскуряковым была разработана методика электроакустических аналогий,

согласно которой первый контур циркуляции АЭС с ВВЭР представлялся аналогичным электрическому контуру колебаний. По данной методике возможно определить собственные частоты колебания теплоносителя для дальнейшего их использования при расчете на вибропрочность главного циркуляционного трубопровода.

В данной работе проводился расчет на вибропрочность ГЦТ АЭС при одновременном воздействии собственных частот колебания давления теплоносителя и вибрационных воздействий, вызванных вращением вала ГЦН. Расчетная модель представлена на рисунке 1.

По результатам расчета получено, что максимальные напряжения, равные 107 МПа возникают в зоне приварки горячего коллектора парогенератора, а собственные частоты колебания заполненного аппарата находятся в диапазоне 10–40 Гц, что может стать причиной возникновения резонансов с частотой вращения ГЦН, равной 16,6 Гц.

Литература

1. Программный комплекс ANSYS Mechanical, версия 14.0. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 327 от 18.04.2013.
2. ПНАЭ Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

*Д.М. Аношин, студ.; рук. Р.З. Аминов, д.т.н., проф.,
М.В. Гариевский, к.т.н. (СГТУ имени Гагарина Ю.А. Саратов)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ЦИКЛЕ АЭС

В Европейской части РФ прослеживается увеличение доли АЭС в структуре генерирующих мощностей. В условиях неравномерных графиков электропотребления эффективным путем развития маневренных мощностей может стать комбинирование АЭС с накопителями тепла на основе аккумуляторов фазового перехода (АФП) [1]. Использование АФП в комбинации с АЭС предполагает осуществление зарядки аккумулятора частью свежего пара в ночные часы снижения электропотребления в энергосистеме. В часы пиковых нагрузок при разрядке аккумулятора часть питательной воды после подогревателей высокого давления нагревается в АФП и затем подмешивается к питательной воде в основном тракте. За счет повышения температуры питательной воды на входе в парогенераторы при той же мощности реактора генерируется избыток свежего пара, который направляется на дополнительную паротурбинную установку [2]. Кроме того, такое комбинирование АФП с дополнительной паровой турбиной небольшой мощности позволит повысить безопасность АЭС путем дополнительного резервирования ее собственных нужд.

Проведено математическое моделирование процесса зарядки АФП в Ansys Fluent. Для решения проблемы низкой теплопроводности теплоаккумулирующего материала сравнивались три вида оребрения теплообменных трубок: продольное, продольное древовидное и радиальное дисковое. В результате расчетов определено время зарядки АФП при использовании различных видов оребрения и теплоаккумулирующих материалов. Также определено необходимое количество свежего пара и динамика его изменения во время зарядки аккумулятора. Полученные результаты позволили оценить технологические аспекты внедрения АФП в схему АЭС, а также детально изучить вопросы экономической эффективности системы аккумулярования в составе АЭС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00090, <https://rscf.ru/project/22-29-00090/>

Литература

1. **Аминов Р.З.** Применение многофункциональных систем с тепловыми аккумуляторами фазового перехода как путь повышения безопасности и эффективности АЭС // Теплоэнергетика. 2022. № 8. С. 5–13.
2. **Патент № 2680380** С1 РФ, МПК G21D 5/00. Способ повышения мощности и безопасности энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР на основе теплового аккумулярования: № 2017141963 / Р.З. Аминов, В.Е. Юрин, М.А. Муртазов.

Д.А. Макаров, студ.; рук. А.Н. Байрамов, д.т.н.
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, ФИЦ «СНЦ РАН», Саратов)

РАЗРАБОТКА НОВОГО ПРИНЦИПА КОМБИНИРОВАНИЯ АЭС С ВОДОРОДНЫМ КОМПЛЕКСОМ

В условиях увеличения доли АЭС в энергосистемах России планируется их привлечение к регулированию неравномерности суточных графиков электрической нагрузки. Это ставит необходимость поиска и разработки аккумулирующих энергоустановок, которые позволят обеспечить АЭС базисной нагрузкой в течение суток. Одним из перспективных решений является использование водородного комплекса на основе электролизного получения водорода и кислорода под высоким давлением с последующим их сжиганием в часы пиковой нагрузки с повышением КПД брутто АЭС на примере с ВВЭР-1000 до 40% (рис. 1) [1, 2].

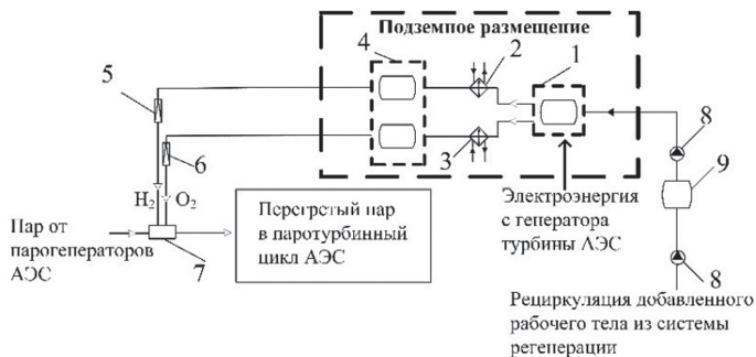


Рис. 1. Принципиальная схема водородного комплекса высокого давления на базе АЭС: 1 — система электролиза воды высокого давления; 2, 3 — охлаждающие теплообменники; 4 — емкостная система хранения водорода и кислорода; 5, 6 — система редуциционных установок; 7 — водород-кислородная камера сгорания; 8 — конденсатный насос; 9 — бак-аккумулятор

По проведенной оценке, вероятность безотказной работы основного оборудования водородного комплекса для режима зарядки и разрядки составила 0,95...0,99 и 0,994...0,996 соответственно (в варианте использования компрессоров до и после системы хранения — 0,9...0,94 и 0,95...0,97 соответственно) в зависимости от потребляемой неэкстремальной мощности от АЭС в диапазоне 175...1000 МВт.

Литература

1. **Байрамов А.Н., Макаров Д.А.** Заявка на изобретение №2023115369 «Водородный комплекс на основе электролиза воды высокого давления для комбинирования с атомной станцией».
2. **Байрамов А.Н., Вдовин Я.А.** Разработка новой концепции водородного комплекса при комбинировании с атомными станциями // Сб.научн.тр. — изд.: СГТУ имени Гагарина Ю.А. — 2022. — Вып. 11. — С.13–20.

Г.В. Андросов, асп.; рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПТУ АЭС

Программа СХЕМА для расчетов на ЭВМ тепловых (технологических) схем паротурбинных установок АЭС была создана в конце 80-х — начале 90-х годов [1]. Программа использовалась студентами, обучающимися на кафедре АЭС МЭИ при изучении учебной дисциплины «Расчеты тепловых схем ПТУ АЭС» и при выполнении индивидуальных заданий. Программа была также апробирована при проведении научных исследований. Программа СХЕМА была модернизирована в середине 00-х годов. Было улучшено структурное построение программы, переработаны и добавлены комментарии к ее операторам, переработан бланк исходной информации, в котором для удобства пользователей, задаваемые параметры сгруппированы в соответствии с частями ПТУ, имеющими свое технологическое назначение. Эти части следующие: проточная часть турбины, промежуточные сепараторы и перегреватели пара турбины, конденсационная установка, система регенеративного подогрева основного конденсата турбины и питательной воды, теплофикационная установка.

Программа СХЕМА создана для расчетов ПТУ энергоблоков с реакторами типа ВВЭР. В то же время программа рассчитывает ПТУ и с другими типами реакторов. Для этого при подготовке исходных данных проводятся дополнительные расчеты, обусловленные особенностями рассчитываемой тепловой схемы.

1. Если в системе регенерации ПТУ имеются подогреватели с зоной охлаждения перегретого пара выбирается значение остаточного перегрева, рассчитывается температура нагреваемой воды на выходе и задается минимальный температурный напор как разность температур конденсации греющего пара и нагреваемой воды на выходе.
2. В случае последовательного по охлаждающей воде включения конденсаторов пара турбины, расчетная схема ПТУ делится на две с 50%-ми расходами свежего пара и различающимися давлениями в конденсаторе, определяемыми температурами охлаждающей воды.
3. При наличии каких-либо насосов, для которых в исходных данных не указаны точки их включения в тепловую схему, рассчитываются подогревы воды и их мощности, которые затем указываются в специально предназначенном для этого последнем пункте исходных данных.

Второй этап модернизации включает в себя программную автоматизацию указанных дополнительных расчетов.

Литература

1. **Зорин В.М.** Реализация системного подхода в математической модели тепловой схемы турбоустановки // М: Теплоэнергетика, 1995, № 1. — С. 43–48.

А.С. Глазунова, студ.;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ДЕБАЛАНСНЫХ ВОД АЭС

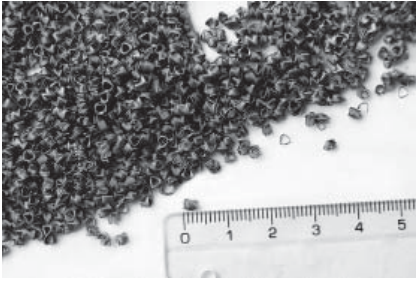


Рис. 1. Внешний вид СПН

В процессе эксплуатации АЭС в теплоносителе первого контура происходит накопление трития, выходящего за пределы станции в виде воды или газообразных выбросов. Прежде всего, очистка от трития требуется для дебалансных вод, получаемых в результате эксплуатации системы переработки протечек воды (СВО-3) и системы переработки вод первого контура (СВО-6) [1]. Одним из перспективных методов решения этой задачи является процесс химического изотопного

обмена (ХИО) водорода с водой в противоточных колоннах с комбинированной загрузкой гидрофобного катализатора и гидрофильной насадки.

В настоящей работе проведена разработка расчётной трехмерной модели спирально-призматической насадки (СПН) для моделирования её обтекания ламинарным потоком жидкости (воды). Данная насадка используется в колоннах ХИО для увеличения поверхности контакта фаз [2]. Расчёты проводились с помощью кода ANSYS-CFX для различной ориентации модели. В реальных условиях насадка обтекается каплей воды в газовой среде. Задача была упрощена для облегчения расчётов на первом этапе и понимания общих особенностей гидродинамики при обтекании.

Полученные результаты показывают значительную неоднородность поля скоростей как в осевом, так и в радиальном направлениях. Застойные зоны образуются преимущественно при горизонтальном расположении модели. Из этого можно сделать предварительный вывод о толщине плёнки при рассмотрении двухфазной системы. Чем больше застойная зона, тем толще будет плёнка на поверхности насадки, что негативно скажется на эффективности фазового изотопного обмена.

Литература

1. **Розенкевич М.Б., Пак Ю.С., Букин А.Н., Марунич С.А., Барчуков В.Г., Сурин П.П.** Атомно-водородная энергетика и очистка от трития сбросов АЭС на базе реакторов ВВЭР поколения 3+ // *Российские нанотехнологии.* — 2020. — № 3. — С. 362–367.
2. **Андреев Б.М., Магомедбеков Э.П., Розенкевич М.Б., Райтман А.А., Сахаровский Ю.А., Хорошилов А.В.** Разделение изотопов биогенных элементов в двухфазных системах. М.: ИздАТ, 2003. — 376 с.

Ю.К. Зайцева, студ.; рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯТЦ РУ ТИПА БН

Развитие топливных циклов является важной задачей. Тенденции развития ЯТЦ быстрых реакторов с натриевым теплоносителем (БН-600 и БН-800), введенных в эксплуатацию на Белоярской АЭС, отражены в их главных особенностях.

В этих реакторах в течение кампании топлива осуществляется перестановка (движение) ТВС от периферии к центру, что позволяет выровнять поле энерговыделения по радиусу. Реактор БН-600 работает по открытому циклу на диоксиде урана (UO_2). Преимуществами такого цикла являются краткость и простота, которые можно трактовать как ограничение кампанией топлива его времени и отсутствие замыкающей технологической части цикла, определяющей переработку отработавшего ядерного топлива. К недостаткам относят большую стоимость долговременных хранилищ, необходимость постоянной охраны захоронений и контроля за состоянием хранимых материалов.

Реактор БН-800 работает по замкнутому циклу, преимуществами которого являются возврат в энергетику урана и плутония, а также уменьшение объёмов захоронения высокорadioактивных отходов. Недостатком является возможность неконтролируемого распространения плутония (^{239}Pu), а наличие радиохимического производства осложняет подготовку топлива к загрузке.

Попытка использования наработанного ^{239}Pu в БН-600 выявила проблемы неподготовленности технологии включения ^{239}Pu в ТВЭЛы. Эти проблемы были решены к моменту пуска БН-800. К настоящему времени накоплен некоторый опыт эксплуатации реактора БН-800 с оксидным уран-плутониевым МОКС-топливом, содержащим плутоний (^{239}Pu) и уран (^{238}U) [1]. Его применение позволяет не только использовать запасы энергетического плутония, но и утилизировать оружейный плутоний, а также «сжигать» долгоживущие изотопы актиноидов (нептуния ^{237}Np , америция ^{241}Am , ^{243}Am , кюрия ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{245}Cm) из облучённого топлива тепловых реакторов. Использование в БН-800 МОКС-топлива является прогрессивным шагом создания замкнутого ЯТЦ.

В результате данного исследования был проведен анализ развития ЯТЦ реакторов типа БН, исследовалась практическая возможность использования наработанного плутония в реальных циклах РУ типа БН.

Литература

1. Белов С.Б., Кузнецов А.Е. Особенности физики активных зон при использовании МОКС-топлива в реакторах БН // Ядерные технологии: от исследований к внедрению: сборник материалов научно-практической конференции; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2018. — 66–67 с.

Е.В. Становов, асп.;
рук. О.И. Мелихов, д.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРЫТИЯ СТОПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ТУРБИНЫ НА АЭС С ВВЭР, ПОЗВОЛЯЮЩЕЕ РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН МАНЕВРИРОВАНИЯ

Для более глубокого маневрирования турбоустановки, необходимо расширение диапазона открытия регулирующими клапанами (РК) паровой турбины. В работе рассматривалось два подхода к решению поставленной задачи: 1 — теоретические модели, и 2 — практические опыты.

Первая часть работы была посвящена математическому моделированию течения в проточной части регулирующего клапана. В центральной части диффузора имеет место область пониженных скоростей, а поперечная неравномерность скоростей с «провалом» в центре сохраняется до выходного сечения диффузора.

Экспериментальные исследования блока регулирующего клапана высокого давления наглядно свидетельствуют о том, что в данном варианте блока регулирующего клапана высокого давления при полном открытии ($h=0,3$) и относительном расходе $q=0,4$ потеря давления на этом варианте клапана не превышает 2,4%.

Результаты экспериментальных исследований модели блока регулирующего клапана с разделительным ребром в клапанной коробке и с модернизированной чашкой показали, что потери давления в регулирующем клапане уменьшаются. Гидравлические потери при полном открытии и относительном расходе $q=0,4$ не превышают 1,8%, что свидетельствует о снижении потерь давления в блоке клапанов высокого давления не менее чем на 0,7% от существующего уровня.

Разработанные рекомендации по снижению гидравлических потерь могут быть применены для проектирования клапанов перспективных конструкций турбин.

Литература

1. Технический отчет на выполнение научно-исследовательской работы по теме: «НИОКР по разработке технических решений по повышению эффективности конструкций узлов парораспределения, надбандажных уплотнений ЦВД и систем влагоудаления в ЦВД и ЦНД паровых турбин для АЭС с ВВЭР. Разработка технических требований к паровым турбинам перспективных энергоблоков», этап 2 «Разработка предложений по совершенствованию конструкции блока клапанов высокого давления», МЭИ, 2023. — 86 с.

*И.А. Барсуков, А.А. Екименко, студенты;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГИЕЙ ПОСРЕДСТВОМ АСММ

Сравнительный анализ критериев размещения атомных электростанций малой мощности (АСММ) и дизельной и газовой генерации показал следующие преимущества АСММ: отсутствие выбросов CO_2 и других загрязняющих веществ, независимость от поставок топлива до 7 лет, возможность реализации опреснения воды, а также приемлемость цен на электроэнергию, обеспечиваемая низкой топливной составляющей годовых расходов в 3%, когда для газовых станций она достигает 80%.

Исследование также показало, что возобновляемые источники энергии, которые принято считать самыми экологичными, уступают АСММ, так как не могут обеспечить стабильность электроснабжения и предоставить низкий тариф на электроэнергию для потребителей. Так, себестоимость энергии АСММ в северных регионах составляет около 14,2 руб/(кВт·ч), что почти в 2 раза ниже, чем энергия солнечных установок [1, 2].

В сравнении с реакторными установками (РУ) большой мощности АСММ также имеют ряд достоинств: низкие капитальные затраты, автономность, модульная конструкция блока, быстрый вывод из эксплуатации. Согласно принципу «Хаттори», при снижении мощности в 10 раз, интегральная безопасность АСММ в 1000 раз выше, чем у РУ большой мощности [2].

Несмотря на все преимущества, АСММ имеет ряд ограничений внедрения. Строительство в удаленных регионах должно быть минимальным. АСММ должна состоять из небольшого числа крупных модулей, ремонт и замена которых не должны занимать больше времени, чем плановое отключение отопления [1].

Таким образом, малая атомная энергетика может снизить воздействие на окружающую среду, способствовать развитию научно-технического потенциала региона и решить проблему энергоснабжения труднодоступных районов России, стабилизировав цены, с учетом принципов и целей Программы устойчивого развития Правительства РФ.

Литература

1. **А.А. Саркисов.** Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: Т. 2. — М.: АкадемПринт, 2015. — 219–221 с.
2. **В. Семенов, Т. Щепетина, С. Попов.** Развитие малых атомных станций: задачи и перспективы: Журн. Энергетическая политика. — 2021. — N 10. — С. 46–63.

Д.И. Завадский, асп.;
рук. О.Л. Ташлыков, д.т.н., доц. (УрФУ, Екатеринбург)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА НА АЭС ПРИ ПОМОЩИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

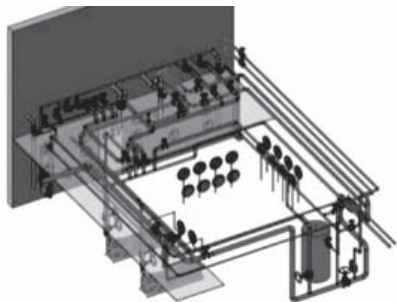


Рис. 1. Виртуальная модель радиационно-опасного помещения

В данной работе представлены результаты использования виртуальных технологий информационного моделирования для оптимизации производственных процессов и радиационной защиты персонала энергоблока БН-600.

Основной целью решения задач оптимизации радиационной защиты является нахождение минимума функционала качества — суммарной дозы облучения при выполнении комплекса работ в нестационарных радиационных полях [1, 2].

$$\sum_{i=1}^n \dot{H}_i \times t_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где \dot{H}_i — мощность дозы в i -ой изодозной области, t_i — время нахождения человека в i -той изодозной области. Разработанная на основе принципа оптимизации модель (см. рис. 1) применялась эксплуатационным персоналом для выполнения регламентных работ. Благодаря её внедрению, время их выполнения удалось сократить, в среднем, на 18%.

Литература

1. Кропачев Ю.А., Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П. Подсистема автоматизированной обработки данных нерегламентных измерений радиационной обстановки // Ядерная и радиационная безопасность. 2019. № 3 (93). С. 26–35.
2. Завадский Д.И., Ташлыков О.Л. Использование BIM-проектирования при планировании радиационно-опасных работ // Ядерные технологии: от исследований к внедрению. 2019. Нижний Новгород. С. 44–45.

*М.Д. Погорелов, Р.В. Сумин, студенты;
А.Р. Маров, Н.С. Волков, соискатели;
рук. Т.А. Бокова, к.т.н. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СВИНЕЦ-ВИСМУТОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПЛАВА

Для инновационных исследовательских и промышленных реакторных установок, использующих в качестве теплоносителя тяжёлые жидкометаллические теплоносители, такие, как свинец-висмут, остро стоит вопрос отработки технологии контроля и поддержания термодинамической активности кислорода в контуре, определяющей массоперенос вблизи границы раздела «конструкционный материал — расплав» [1]. Уточнение зависимостей, описывающих эти процессы, особенно актуально для области низких, относительно наиболее изученных, температур расплава — 250÷300 °С [2]. Для изучения особенностей технологии свинец-висмутového теплоносителя в различных диапазонах температур были проведены испытания на экспериментальном стенде ФТ-1 НГТУ.

Обозначенные исследования проводились в контуре с принудительной циркуляцией теплоносителя, в цикле испытаний подшипникового узла, при температуре 250 °С с аргоновой газовой подушкой в полостях сосудов элементов оборудования. Программа исследования также включала несколько циклов регенерации теплоносителя с вводом в контур водорода.

Результатом исследований стали графики зависимостей термодинамической активности кислорода на разных режимах эксплуатации экспериментального стенда от температуры теплоносителя при известном давлении и расходе.

Данные результаты могут быть использованы для разработки методов повышения эффективности контроля термодинамической активности для реакторных установок со свинец-висмутovým теплоносителем.

Литература

1. **Лаврова О.В., Легких А.Ю.** Термодинамика равновесных состояний и подходы к анализу массопереноса в металлоксидных системах // Известия вузов. Ядерная энергетика 2020. № 2. С. 39–51.
2. **Безносков А.В., Драгунов Ю.Г., Рачков В.И.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике. — М.: ИздАТ, 2007. — 432 с.

М.А. Чубаров, М.Ю. Захаров, асп. ;
 рук. Г.В. Тихомиров, д.ф.-м.н., проф. (НИЯУ МИФИ, Москва)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТУРБУЛЕНТНОГО ЧИСЛА ПРАНДТЛЯ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТВЭЛА БЫСТРОГО РЕАКТОРА СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В ПП «ЛОГОС»

При низких значениях числа Прандтля, характерных для жидких металлов, доминирующим процессом переноса тепла становится молекулярная диффузия, а учет этого процесса в инженерных расчетах осуществляется за счет введения турбулентного числа Прандтля, описывающего перенос тепла между вихрями в турбулентных течениях. Турбулентное число Прандтля, в свою очередь, также зависит от теплопроводности среды, числа Рейнольдса и расстояния от стенки.

В связи с отсутствием однозначных рекомендаций при моделировании теплогидравлических процессов в активной зоне реакторов со свинцовым теплоносителем, в данной работе рассматривается влияние различных корреляций турбулентного числа Прандтля и теплопроводности свинца на радиальные и аксиальные температурные поля на примере топливной ячейки реактора БРЕСТ-ОД-300 в ПП «ЛОГОС» (рисунок 1). Учитывалось изменение аксиального энерговыделения с максимальным значением 480 МВт/м^3 , высота топливной ячейки составляла 1100 мм, количество расчетных ячеек — 12,5 млн. При моделировании использовалась SST k- ω модель турбулентности.

В результате моделирования, наиболее близкие к проектным значениям температуры теплоносителя и оболочки твэла позволило получить сочетание модели турбулентного числа Прандтля, предложенной Ченгом и Таком, и корреляции теплопроводности Савченко И.В.

Работа выполнена в рамках Госзадания (проект FSWU-2022-0016) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

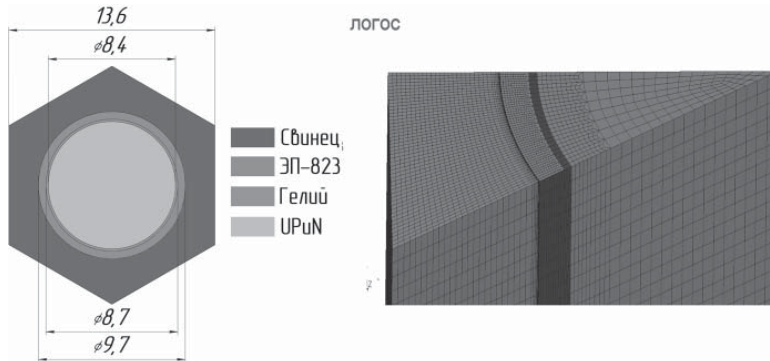


Рис. 1. Модель топливной ячейки

Н.В. Мацин, асп.; А.Е. Соборнов, соиск.;
рук. Р.Р. Рязанов, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СМЕШЕНИИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

С целью валидации разрабатываемой расчетной методики оценки влияния случайных термоциклических нагрузок на ресурсные характеристики конструкционных материалов оборудования ЯЭУ в НГТУ им. Алексеева на стенде, имитирующем водо-водяную реакторную установку, проводится исследование нестационарного температурного поля, обусловленного пульсационными процессами, возникающими при смешении потоков теплоносителя [1]. Диапазоны режимных параметров исследования: давление теплоносителя 9,5–10,5 МПа; температура «горячего» потока (T_h) 250–285°C; температура «холодного» потока (T_c) 35–60°C; число Рейнольдса (Re_h) для «горячего» потока $3,9 \cdot 10^4$ – $5,4 \cdot 10^4$; число Рейнольдса (Re_c) для «холодного» потока $9,8 \cdot 10^2$ – $2,2 \cdot 10^3$.

Расчетное определение характеристик пульсаций температуры и скорости осуществлялось на блочно-структурированной сеточной модели, содержащей ~15 млн элементов. В данной постановке задачи целесообразным является применение метода моделирования крупных вихрей (LES) вследствие того, что он позволяет точно разрешить наиболее крупные вихревые структуры. В качестве подсеточной модели выбрана локальная модель вихревой вязкости, адаптированная для пристеночных течений (WALE). Константа подсеточной модели принималась по умолчанию $C_w=0,325$. Шаг по времени выбирался согласно критерию устойчивости численного решения Куранта — Фридрихса — Леви ($CFL \leq 1$) и составил 0,002 с. Исследование проведено в CFD-коде Ansys Fluent.

Анализ статистических и спектральных характеристик термопульсаций показал качественное и, в ряде случаев, количественное сходство результатов численного моделирования и экспериментального исследования. Относительное отклонение расчетного осредненного во времени профиля температуры не превышает 8% от экспериментального. Расчетный энергетический спектр термопульсаций имеет характерные пики в области частот от 0,1 до 0,8 Гц. В результате анализа взаимной спектральной плотности мощности пульсаций полей скорости и температуры теплоносителя прослеживается их взаимосвязь в области частот от 0,2 до 0,75 Гц.

Литература

1. **С.М. Дмитриев и др.** Экспериментальные исследования температурных пульсаций при смешении неизотермических потоков теплоносителя в элементах оборудования ЯРУ // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2019. — № 2. — С. 117–127.

*Д.О. Фомичев, асп.; А.Р. Масев, Е.В. Крайнов, студ.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА ВВЭР-1000, ВЫПОЛНЕННОЙ В COMSOL MULTIPHYSICS, ПРИ ПОМОЩИ ПАКЕТА ANSYS FLUENT

При расчете ядерных реакторов особый интерес представляет определение теплогидравлических характеристик активной зоны. От правильного расчета тепловыделяющих элементов и моделирования процессов в активной зоне зависит безопасность и надежность всей ядерной энергетической установки. Ввиду сложности физики этих процессов точный аналитический расчет представляется чрезвычайно сложным [1]. Вместо этого используются программные пакеты теплофизического моделирования, такие как Elcut, COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent и др. Результаты исследований при применении различных пакетов могут различаться, поэтому для верификации результатов представляется необходимым осуществлять расчет при помощи сразу нескольких программных средств.

В данной работе проводилась проверка расчетов температурного поля твэлов реактора ВВЭР-1000 в двухмерной и трехмерной постановках задачи, которые были проведены с помощью пакета COMSOL Multiphysics по методикам, приведенным в [2]. Пакет COMSOL Multiphysics отсутствует в базе данных программных средств Росатома. В то же время, пакет ANSYS официально может быть использован для подобных расчетов. Таким образом, необходимо проведение кросс-верификации результатов моделирования с использованием лицензированных средств для подтверждения расчетов.

В результате проведенного моделирования в ANSYS Fluent, максимальная относительная погрешность определения температуры в центре твэла по сравнению с моделью в COMSOL оказалась менее 1% (до 1–1.5 °С). Таким образом, полученная точность находится в пределах погрешности, свойственной измерительным приборам. Этим подтверждается, что пакет COMSOL может быть использован для расчета температурных полей твэлов наравне с ANSYS.

Литература

1. **Горбунов В.А., Иванова Н.Б., Лоншаков Н.А., Белов Я.В.** Разработка модели по определению температурного поля твэла в двумерной постановке задачи // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2019. — № 2. — 174–184 с.
2. **Горбунов В.А.** Теплогидравлические процессы в ядерных реакторах: методические указания к лабораторным занятиям // Иваново, ИГЭУ. 2018. — 163 с.

В.Д. Матушкин, асп.; рук. Ю.Б. Воробьёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРОССВАЛИДАЦИИ ТИПА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВИДОВ АВАРИЙ НА АЭС

В докладе рассматривается возможность применения искусственных нейронных сетей для создания системы распознавания видов аварий на АЭС. Генерация базы данных по рассматриваемым авариям типа ЛОСА с разрывом горячей и холодной ниток производилась по модели РУ ВВЭР-1000/В-320 с использованием кода RELAP5/Mod3.2. Качество настройки проверяется статистическим методом кроссвалидации типа Монте-Карло. Влияние параметров настроенной системы и кроссвалидации на улучшение качества работы системы оценивается методом Морриса — методом глобального анализа чувствительности.

Подробный анализ АЭС как системы множества параметров и выявление отклонений параметров от номинальных значений, приводящих к аварийным ситуациям, представляет собой сложную задачу. Для эффективной работы оператора необходима простая и в то же время совершенная система, которая будет способна не только выявлять наличие аварии, но и определять её вид, исходные события и осуществлять поддержку оператора путём предоставления информации по оптимальным действиям.

Для изучения сложных систем типа АЭС и улучшения систем безопасности АЭС в мире активно изучается применение искусственных нейронных сетей. При этом крайне мало исследователей уделяют внимание различным методам проверки качества настройки нейронных сетей, таким как кроссвалидация Монте-Карло, а также вопросу формирования обучающих и проверочных выборок и анализу влияния параметров нейронных сетей на точность предсказания видов аварий.

В докладе рассматривается возможность использования метода кроссвалидации типа Монте-Карло для проверки качества настройки нейронных сетей. Проводится анализ влияния разбиения базы данных для обучения и проверки, а также вариации количества нейронов в скрытом слое на точность нейронных сетей. Используя метод Морриса, метод глобального анализа чувствительности, показано, что разбиение базы данных имеет в 2 раза большее влияние на точность, чем рассмотренные архитектуры. Наилучший результат обучения достигается в области пропорций: 90% на обучение и 10% на проверку. Рассмотренные архитектуры имеют второстепенное влияние на уровне влияния кроссвалидации на изменение оценки точности модели.

Сюй Хао, Чжэн Лицзян, студ.;
рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АКУСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 И ВВЭР-1200 В ВИДЕ ТРУБЫ РИЙКЕ

Установлено, что ветви отрицательных сопротивлений вязкостного и теплового при конвективном подводе теплоты в трубе Рийке составляют причину возбуждения автоколебаний теплоподводом от внутреннего источника теплоты, расположенного в нижней части вертикальной открытой с обоих концов трубы при образовании в ней сквозного движения. При этом самовозбуждение автоколебаний возникает при потере устойчивости ламинарного конвективного течения нагретого газа.

Получена математическая модель с сосредоточенными параметрами автоколебаний в трубе Рийке при расположении ресивера с дросселем на ее входе. Данная модель формально совпадает с уравнениями теории помпажа в одноступенчатом компрессоре. Установлено, что с увеличением мощности электронагревателя увеличивается область неустойчивости стационарного конвективного течения. Также установлено, что с увеличением объема ресивера форма автоколебаний переходит от гармонической к релаксационной. Частота колебаний при этом уменьшается.

Полученные результаты

$$\frac{dP_1}{dQ_T} = \frac{L_a Q_T - \varphi(P_1)}{C_a F(Q_T) - P_1} > 0 \quad (1)$$

подтверждают возможность использования акустической модели активной зоны реактора ВВЭР-1000 и 1200 в виде трубы Рийке для расчёта частоты автоколебаний в теплоносителе в эксплуатационных режимах АЭС с реактором ВВЭР-1000 и 1200.

Также установлено, что выполняется необходимое условие образования предельного цикла для уравнения — наличие восходящей ветви $F(Q_T)/(dQ_T) > 0$ на напорной характеристике $F(Q_T)$.

Литература

1. **Гоцуленко В.В., Гоцуленко В.Н.** Тепловое сопротивление как механизм возбуждения автоколебаний // Сб. науч. тр. Днепродзерж. гос. техн. ун-та. Днепродзержинск, 2009 — С. 95–100.
2. **Беляев Н.М., Белик Н.П., Польшин А.В.** Термоакустические колебания газожидкостных потоков в сложных трубопроводах энергетических установок. Киев: Высшая школа, 1985. 160 с.

Г.А. Ваулин, студ.; рук. Н.Н. Ошканов, проф. (УрФУ, Екатеринбург)

АНАЛИЗ ОТКЛИКОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ПО КЛАССИЧЕСКОЙ И МАРКОВСКОЙ КИНЕТИКАМ НА ЛИНЕЙНУЮ РЕАКТИВНОСТЬ

Проведено сравнение откликов реактора на линейно зависящую от времени реактивность по классической кинетике цепной реакции деления (СЦР) [1] и новой кинетики последовательности нейтронных циклов СЦР, которая точно описывается Марковской цепью [2]. По классической кинетике отклик реактора на ввод реактивности $\rho(t) = \gamma\beta t$ в приближении «постоянного скачка» для $\lambda\beta/\gamma = 1$ определяется уравнением [1]



Рис. 1. Отклики реактора на ввод линейной реактивности

$$n/n_0 = \exp(-\lambda t) \left(\frac{\beta}{\beta - \gamma t} \right)^2 \quad (1)$$

где n/n_0 — отношение объемных плотностей нейтронов после ввода реактивности и исходного критического состояния реактора (нейтронные мощности); γ — скорость изменения реактивности (с^{-1}); t — время (с); λ — одногрупповая постоянная распада предшественников запаздывающих нейтронов (с^{-1}); β — эффективная доля запаздывающих нейтронов. Отклик реактора на ввод линейной реактивности определяется по Марковской кинетике как

$$n_m/n_0 = [k(1 - \beta)]^m + \beta \frac{1 - [k(1 - \beta)]^{m-1}}{1 - k(1 - \beta)}, \quad (2)$$

где $k = 1/[1 - \rho(t)]$ — эффективный коэффициент размножения активной зоны; m — номер цикла СЦР с момента ввода реактивности [2]. Результаты анализа приведены на Рис. ВЫВОД. Отклик на ввод линейной реактивности по Марковской кинетике приводит к существенно меньшему росту мощности реактора, чем по классической кинетике. ПРИЧИНА — некорректный учет в классической кинетике влияния реактивности на предшественники в цикле, предшествующем вводу реактивности [2]. Актуальность работы определяется перспективой использования точной Марковской кинетики. Личный вклад автора заключается в разработке компьютерных кодов, расчетов, формулировке тезисов и статьи.

Литература

1. Хетрик Д. Динамика ядерных реакторов. Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1975.
2. Ошканов Н.Н. Сравнительный анализ классической кинетики ядерной реакции и кинетики Марковской цепной реакции деления / Н.Н. Ошканов, Я.О. Комарова, П.А. Михайлова. — Екатеринбург: Траектория исследований — человек, природа, технологии. — 2023. — № 3.

*М.С. Ключников, студ.;
рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ МЕЖДУ ДНИЩЕМ ШАХТЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 И ВХОДОМ В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ СБОРКИ

Пространство между перфорированным днищем и входом в активную зону представляет собой объём эллиптического днища корзины активной зоны, в котором собран пучок опорных стаканов для тепловыделяющих сборок, который расположен по треугольной сетке. Согласно методу электроакустических аналогий, акустическая масса m_a расположена в отверстиях перфорированного днища, а акустическая податливость C_a в объеме камеры, в которой расположены опорные стаканы. Резонансная частота f_r в двух рассматриваемых системах равна:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{m_a c_a}} \quad (1)$$

Необходимые для гидравлического расчета исходные данные пространства под активной зоной взяты из проектных материалов Балаковской атомной станции. Определены значения собственных частот колебаний давления теплоносителя (СЧКТД) в заданных режимах.

Установлено, что с увеличением температуры СЧКТД уменьшаются. При значениях СЧКТД близких к резонансу с вибрациями оборудования или к частотам колебаний, вызванных работой главных циркуляционных насосов, происходит резкое увеличение амплитуды колебаний давления теплоносителя.

При понижении температуры на 12°C от номинального режима эксплуатации происходит приближение кратных частот вращения ГЦН (оборотная частота 16,6 Гц) к СЧКТД в реакторе. То есть при температуре теплоносителя 287°C возникает резонансное взаимодействие акустических колебаний с частотой 16,3 Гц и колебаниями оборудования. Этот температурный режим уменьшает срок службы оборудования и является аварийно-опасным.

Литература

1. **Проскуряков К.Н., Аникеев А.В., Белова С.К., Писарева Д.А.**, Разработка методики расчета частоты АСВ в эксплуатационных режимах АЭС с ВВЭР // Глобальная ядерная безопасность. 2018, №2 (27). С. 74–81.
2. **Проскуряков К.Н., Аникеев А.В., Афшар И., Белова С.К., Писарева Д.А.** Прогнозирование виброакустических резонансов в активных зонах атомных электрических станций с водо-водяным энергетическим реактором // Вестник МЭИ. 2019, № 6. С. 39–49.

*А.В. Михалев, асп.; рук. С.Б. Кравец, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
А.В. Любарский, к.т.н., нач. упр. (АО «Атомэнергопроект»)*

ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИИ НА АЭС

В России и мире основой для определения требуемых мер по защите населения является прогнозируемая доза облучения, определяемая расчетным путем кризисным центром или измеренная по выпавшим на землю радионуклидам в момент аварии. При этом характер мер напрямую зависит от определенной дозы облучения [1, 2].

Данный подход имеет существенные недостатки, такие как:

- отсутствие четких мер по защите населения на каждом этапе протекания аварии;
- потенциальной возможности несвоевременного получения информации о дозовых нагрузках, приводящей к позднему началу эвакуации и летальным исходам среди населения.

Во избежание подобных негативных последствий, в работе предлагается четко определить последовательность защитных мер и оптимальное время начала их проведения при протекании аварии на АЭС с учетом особенностей проекта АЭС и конфигурации систем безопасности с использованием вероятностных оценок перехода отказа в тяжелую аварию или аварийный выброс. Такой подход в ряде случаев позволит избежать переоблучения населения за счет начала активных мер по его защите до выхода радиоактивных продуктов за пределы АЭС.

Применение данного подхода, наряду с традиционным прогнозированием дозы облучения, увеличит уровень безопасности населения во время тяжелой аварии на АЭС. Подобные меры также могут быть учтены в вероятностном анализе безопасности в виде количественного показателя — вероятность раннего большого выброса [3], определяемого в рамках ВАБ-2.

Литература

1. **НП-078-06.** Положение о порядке объявления аварийной готовности, аварийной обстановки и оперативной передачи информации в случае радиационно опасных ситуаций на предприятиях ядерного топливного цикла.
2. **EPR-NPP-PPA.** Меры по защите населения в случае тяжелой аварийной ситуации на легководном реакторе. МАГАТЭ. — Вена, 2015.
3. **Regulatory Guide 1.174,** Revision 3. An Approach For Using Probabilistic Risk Assessment In Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis., US NRC, Jan. 2018. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML1731/ML17317A256.pdf> (accessed 01.09.2023).

П.А. Кузнецова, студ.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЮОННОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОНТЕЙНЕРОВ С ОЯТ И РАО

Одной из важнейших задач обеспечения нераспространения ядерных материалов является контроль контейнеров ОЯТ и РАО и их содержимого. Вскрытие контейнеров является сложной и дорогостоящей операцией и не всегда возможно, а методы неразрушающего контроля (например, технический рентген или гамма-просветка) не всегда возможны и эффективны.

В связи с этим учеными из Лос-Аламосской национальной лаборатории [1] был проведен натурный эксперимент, в котором методом рассеивания мюонов определялось отсутствие ОЯТ в герметичных контейнерах сухого хранения. В качестве исследуемого объекта был выбран контейнер Westinghouse MC-10 [2] с частичной загрузкой: он имеет цилиндрическую форму, высота составляет 4,8 метров, диаметр — 2,7 метров и вмещает в себя 24 отработавшие тепловыделяющие сборки (ОТВС). Для регистрации потока мюонов использовались два детектора размерами $1,2 \times 1,2$ м² на дрейфовых трубках. Помимо этого, выполнены два численных моделирования с помощью программы GEANT4.

Результаты эксперимента показали, что за 90 дней можно с точностью определить отсутствие ОТВС в контейнерах. Полученный результат подтверждает и численное моделирование. Следует отметить, что использованные детекторы не были оптимизированы под данную задачу, использование специализированных детекторов, по оценкам, позволит провести мониторинг за время менее суток.

Российские контейнеры для транспортировки ОЯТ имеют близкие габариты (высота — 6,165 м, диаметр — 2,77 м) и объем загрузки (20 ОТВС). В РФ также имеются существенные наработки в области данной технологии, подтверждающие возможности технологии и российского оборудования [3].

Данная технология может стать важнейшим элементом контроля оборота топлива и ядерных материалов в российских проектах за рубежом, а также методом ревизии контейнеров ОЯТ и РАО на предмет хищения, повреждений и посторонних включений.

Литература

1. **J.M. Durham, D. Poulson, D.L. Chichester.** Verification of spent nuclear fuel in sealed dry storage cask via measurements of cosmic ray muon scattering. March 14, 2018. — 8 p.
2. **McKinnon M.A., Cree J.M., Wheeler C.L.,** The MC-10 PWR spent fuel storage cask: Testing and analysis. 1987., Electric Power Research Institute Report NP-5268.
3. **I. I. Yashin et al.** Muon Tomography of Large-Scale Objects. Physics of Atomic Nuclei, 2021, Vol. 84, No. 6, pp. 1171–1181.

*К.С. Ковешников, студ.;
рук. Е.В. Моисеенко, к.ф-м.н (Москва, ИБРАЭ РАН)*

ВАЛИДАЦИЯ ПОГРАНСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕНА, РЕАЛИЗОВАННОЙ В КОДЕ TITAN-2

При гипотетической тяжёлой аварии на АЭС с ВВЭР тепловыделяющий материал расплавленной активной зоны попадает в напорную камеру ректора с последующей стратификацией расплава на металлическую и оксидную фазы. Одной из возможных конфигураций является расположение оксидной фазы в цилиндрической части корпуса над металлической. Из-за низкой вязкости расплава, высокой температуры и больших масштабов возникает интенсивная конвекция с числами Рэлея $\sim 10^{17}$. Для надёжной оценки времени и места проплавления корпуса требуется расчет теплообмена в такой системе.

Такие задачи либо лежат за пределами применимости CFD методов (RANS), либо требуют слишком большого времени (LES). Получение больших чисел Рэлея в эксперименте также связано с большими техническими трудностями. В коде TITAN-2, предназначенном для мультифизического моделирования реакторных установок ВВЭР в режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, в том числе при авариях, включая тяжелые, для моделирования теплообмена цилиндрического слоя оксидного расплава с корпусом реактора используется погранслоиная модель, основанная на выделении подобласти расплава с эффективными тепловыми свойствами.

Работа посвящена валидации этой модели на экспериментах серии BAFOND [1], с цилиндрическим сосудом с подсоленной водой, тепловыделение в которой вызывалось пропусканием тока. При этом число Рэлея достигало $\sim 10^{13}$. Сравнение проводилось по перегреву жидкости на оси цилиндра. Показано, что расчеты при разных числах Рэлея хорошо совпадают с экспериментальными данными. Оцененная погрешность расчёта перегрева расплава выше температуры ликвидус лежит в диапазоне $[-4; 2]$ К. Также для сравнения проведены CFD расчеты с использованием RANS моделей турбулентности, в том числе для больших чисел Рэлея. Экстраполяция результатов расчета данной модели обеспечивает возможность надёжно прогнозировать пространственное распределение потоков тепла и динамику проплавления корпуса.

Литература

1. **Alvarez D., Malterre P., Seiler J.M.** Natural convection in volume heated liquid pools — the BAFOND experiments: proposals for new correlations. Science and technology of fast reactor safety. BNES, London, 1986.

*П.А. Минеев, асп.; О.Ю. Нагорная, соиск.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ПТУ АЭС

В соответствие с указом президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года, в которой утверждается необходимость развития интеллектуальных систем в области научно-технического развития. В связи с этим разработка и внедрение в производственный процесс нейросетевых моделей оборудования АЭС является наиболее актуальным вопросом в настоящее время.

На сегодняшний день нейросетевые технологии затрагивают практически каждый сегмент бытовой жизни. Однако, в энергетическом секторе они не получили столь же широкого распространения. При этом перспективы внедрения нейронных сетей в совокупности с оптимизационными алгоритмами в технологический процесс АЭС достаточно велики: в нашем случае, нейросетевая модель (НМ) может повысить вырабатываемую мощность паротурбинной установки (ПТУ) при одновременном повышении электрического КПД цикл, снижении расхода пара на турбоустановку и удельных расходов пара и тепла.

В ходе работы разработана НМ ПТУ с турбиной К-1000-60/3000, установленная на одной из АЭС. Количество входных параметров в ходе статистического анализа выбрано равным 58-ми (к ним относятся расходы, температуры и давления пара и воды, а также вырабатываемая мощность и частота ЭГ), из которых 7 — регулируемые. Выходные параметры (целевые функции) — электрическая мощность турбины, удельный расход пара на выработку ЭЭ, удельный расход тепла на выработку ЭЭ, абсолютный электрический КПД. Для обучения использовалась выборка из трёх тысяч точек измерения параметров за один год эксплуатации ПТУ. Корреляция с экспериментальными данными у полученной модели близка к 100%.

Главной перспективой внедрения разработанной НМ в производственный процесс является оптимизация работы ПТУ путем воздействия, которое регламентирует НМ, персонала АЭС на регулируемые параметры.

Литература

1. **Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490** «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

К.А. Чечелов, студ.;
рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТАЦИЯ ЦИФРОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ВВЭР ДЛЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РИТМ-200

Цифровая акустическая модель парогенератора ВВЭР (ЦАМПП) ВВЭР состоит из трёх акустических систем (АС): АС1, АС2 и объединяющую их АС3. Механическим аналогом АС3, является груз, обладающий массой m с пружинами на обоих концах груза, каждая из которых прикреплена к жёсткой границе и обладает массой m и жесткостью k . ЦАМПП представляет собой акустическую систему, состоящую из двух последовательно соединённых резонаторов Гельмгольца. Установлено, что система ЦАМПП генерирует автоколебания теплоносителя с частотами, обнаруживаемыми в авто спектральных характеристиках сигналов от датчиков пульсаций давления измеренных на действующих АЭС с ВВЭР. Акустическая система ЦАМПП позволяет идентифицировать источники автоколебаний, частоты которых присутствуют в том же диапазоне частот, в котором находятся частоты вибраций оборудования и внутрикорпусных устройств реакторной установки. Использование ЦАМПП позволяет оптимизировать конструкторские и инженерные решения путем создания оборудования, способного минимизировать нежелательные циклические нагрузки.

Обоснована возможность адаптации ЦАМПП ВВЭР для использования на реакторной установке малой мощности РИТМ-200, предназначенной для освоения Мирового океана, Арктики, Антарктики, Северного морского пути. РИТМ-200 — перспективная реакторная установка для ледокольного флота и атомных станций малой мощности наземного исполнения РУ РИТМ-200 имеет следующие особенности: 1) парогенерирующий блок интегрированного типа; 2) главные циркуляционные насосы расположены в отдельных выносных гидрокамерах; 3) расположение кассет ПГ внутри корпуса; 4) выработка пара производится по двухконтурной схеме. В ходе выполнения данной работы определены исходные характеристики ЦАМПП “РИТМ” и обоснована целесообразность её использования.

Литература

1. **K.N. Proskuryakov, E. Afshar, A.V. Anikeev and R.M. Ismail.** Digital acoustical models of steam generator in VVER-440 NPP/ 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2022, pp. 1–6, DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731416
2. **K.N. Proskuryakov, A.V. Anikeev, and E. Afshar.** Computer modeling of Acoustic Standing Waves in the coolant of NPP // Journal of Physics: Conference Series, 15th International conference on optical methods of flow investigation, 2019, DOI: 10.1088/1742-6596/1421/1/012041

*И.А. Прохоров, Н.Н. Павлушин, студ.;
рук. А.О. Гольцев, проф. (НИУ «МЭИ»)*

НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ ПРОГНОЗА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА РБМК, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ВЫБОРОМ СХЕМЫ РЕМОНТА ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ

В процессе эксплуатации реактора РБМК-1000 графит кладки подвергается радиационным изменениям, что приводит к растрескиванию графитовых блоков и искривлению технологических каналов. К настоящему времени отработана технология ремонтно-восстановительных работ по управлению ресурсными характеристиками (УРХ) графитовой кладки (ГК), которая предусматривает продольную резку графитовых колонн с удалением продуктов резки из реактора. Удаление части графита кладки влияет на уран-графитовое отношение и, как следствие, на нейтронно-физические характеристики (НФХ) реакторов.

Для детального анализа изменения НФХ и их соответствия эксплуатационным пределам проводится расчётное моделирование работы реактора и прогнозирование значений НФХ в течение длительного срока вплоть до останова энергоблока для вывода из эксплуатации.

Для возможности проведения расчётного моделирования работы реакторов разработан программный модуль формирования прогнозных картограмм резки ГК, который будет использован при моделировании ремонтов в процессе эксплуатации.

При моделировании работы реактора удаление одинакового количества графита, но с разными схемами резки может привести к различным значениям НФХ в состоянии после ремонта [1]. Получены следующие оценки неопределённости НФХ реактора, обусловленной отсутствием информации о схеме резки, используемой при удалении заданного количества графита:

- для парового коэффициента реактивности — $0,03 \beta_{эф}$;
- для коэффициента реактивности по температуре графита — $2 \cdot 10^{-5} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$;
- для эффекта обезвоживания контура многократной принудительной циркуляции расхоленного разотравленного реактора — $0,05 \beta_{эф}$;
- для подкритичности расхоленного разотравленного реактора — $0,05 \beta_{эф}$.

Литература

1. **Плеханов Р.В. и др.** Неопределённость прогноза нейтронно-физических характеристик реактора РБМК, обусловленная выбором схемы ремонта графитовой кладки // ВАНТ, серия «Физика ядерных реакторов». — 2023 // вып. 5.

А.Е. Степанов, студ.; рук. А.Г. Шастин, к.т.н., проф.;
С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ ДЛЯ АЭС МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На сегодняшний день энергоблоки АЭС покрывают только базовую часть графика электрической нагрузки и не участвуют в его регулировании. Именно поэтому необходим поиск новых способов маневрирования АЭС [1].

Аккумулирование электрической и/или тепловой энергии в период спада её потребления с последующим использованием в пиковые периоды нагрузок возможно только при создании специальных накопителей энергии или аккумулирующих электростанций. Показано, что эффективным методом аккумуляции является электролиз воды [2].

Распространенной конструкцией для электролиза воды является водно-щелочной электролизер (Рис. 1.). При протекании тока через раствор электролита на электродах происходит электрохимическая реакция разложения воды.

В процессе эксплуатации электролизера наблюдается тенденция снижения производительности его ячеек из-за формирующийся облако выделившихся газов [3, 4].

Метод интенсификации процесса электролиза заключается в дополнительном подведении источника УЗ генерации мощностью 1кВт непосредственно к электродам электролизной ячейки.

Первые результаты интенсификации электролиза позволили подтвердить воздействие УЗ на электрохимическую ячейку.

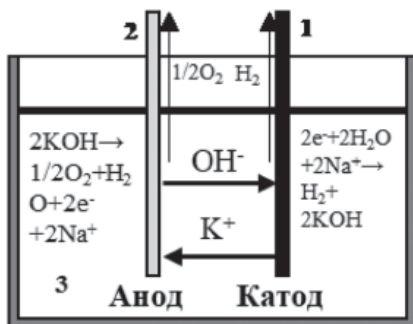


Рис. 1. Водно-щелочная электролизная ячейка. 1 — катод, 2 — анод, 3 — электролит

Литература

1. В.М. Беркович О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций — Теплоэнергетика. 1974, № 6. С. 16–19.
2. Р.З. Аминов, А.Н. Байрамов Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями. — М.: Наука, 2016. — 254 с.
3. С.А. Григорьев, к.т.н., В.И. Порембский, В.Н. Фатеев, проф, д.х.н., Р.О. Самсонов, д.т.н., С.И. Козлов, д.т.н. Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы.
4. З.М. Алиев, Д.Ш. Магомедова, А.З. Багатилов, С.Д. Гатиева, Р.Т. Гюлов Влияние ультразвука на электролиз морской воды.

Секция 42

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Problems of thermonuclear power engineering and plasma technologies

Председатель секции:

член-корреспондент РАН, д. т. н. Дедов Алексей Викторович

Секретарь секции: д. т. н. Лубенченко Александр Владимирович

*Е.О. Румянцева, студ.; А.А. Коньков, асп.;
рук. М.В. Лукашевский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ В УСТАНОВКЕ ПЛМ-М С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДВИЖНЫХ ЗОНДОВ ЛЕНГМЮРА

Для исследования свойств приповерхностной плазмы во время испытаний конструкционных материалов токамака-реактора [1–3] для установки ПЛМ-М размещена подвижная зондовая диагностика, для которой была разработана и испытана автоматизированная система измерений параметров плазмы.

Система состоит из сборки 4-х зондов, электромеханического манипулятора, системы подачи переменного потенциала на зонды. Система управления и сбора данных состоит из контроллера перемещения манипулятора, твердотельного реле, четырёхканального АЦП с делителем напряжения. Зонд может перемещаться вертикально на расстояние до 150 мм от оси установки. Параметры зонда: материал — вольфрам, длина собирающей поверхности — 3 мм, диаметр — 1 мм.

Измерены параметры плазмы в ресиверной области установки ПЛМ-М в условиях свободного истечения плазмы в объём ресивера. Измерения проводились по схеме одиночного зонда Ленгмюра. Получено распределение ионного тока и потенциала зонда по радиусу пучка плазмы. Вольт-амперная характеристика получена подачей на зонд переменного напряжения амплитудой ± 100 В и частотой 1 кГц, форма сигнала пилообразная.

Установлено, что истекающий в ресиверную область поток плазмы имеет радиус более 150 мм, плавающий потенциал плазмы на оси установки составил от -3,7 В до -4,2 В, на расстоянии 150 мм от оси от -1,7 В до -2 В. Плотность электронов в центре пучка составила порядка 10^{13} см⁻³.

Литература

1. **Budaev V. et al** The PLM Plasma Device for Tests of Tungsten with Powerful Stationary Heat Plasma Loads // Physics of Atomic Nuclei. 2019. Vol. 82. No. 9.
2. **Ohno N. et al** Static and dynamic behaviour of plasma detachment in the divertor simulator experiment NAGDIS-II // Nucl. Fusion. 2011. 41. 1055.
3. **Takamura S.** Characteristics of the compact plasma device AIT-PID with multicusp magnetic confinement // IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng. 2012. 7 (S1). 19.

*В.А. Березин, студ.; К.В. Чан, асп.;
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЧ МОЩНОСТИ, ПОГЛОЩЕННОЙ ПЛАЗМОЙ НА УСТАНОВКЕ ПЛМ-М

В установке ПЛМ-М активно ведутся исследования по взаимодействию стационарной плазмы с поверхностью теплозащитных материалов термоядерного реактора, а также по разработке технологии создания плазменного двигателя. Одной из основных задач является создание системы дополнительного нагрева с помощью геликоновой антенны на частотах 13,56 МГц и 27,12 МГц в установке ПЛМ-М.



Рис. 1. Фотография пояса Роговского

В рамках данной работы разработана система измерения ВЧ мощности, поглощенной плазмой на установке ПЛМ-М. Система позволяет измерять мощность ВЧ генератора, отдаваемую во внешнюю цепь, ток, текущий через антенну и ВЧ напряжение на концах антенны. Разработан и изготовлен пояс Роговского для измерения тока, текущего по антенне: тороидальная катушка состоит из 48 витков медной проволоки диаметром 1мм, намотанных на пластмассовый сердечник (D35 × d20 × H8). Схема интегрирования состоит из переменного резистора сопротивлением 5кОм и конденсатора ёмкостью 0.01мкФ. Определение тока, текущего через антенну проводится путём измерения напряжения на конденсаторе.

Для измерения фактической ВЧ мощности, поглощенной плазмой, использовался метод, описанный в работе [2]. Определены ВЧ мощности, поглощенной плазмой на установке ПЛМ-М. Мощность ВЧ-генератора регулирована от 80 Вт до 5 кВт на частоте 13,56 МГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 21-79-10281 и Министерства науки и высшего образования РФ (FSWF-2023-0016).

Литература

1. **VP Budaev et al** 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1383 012016
2. **Кралькина Е.А.** Индуктивный высокочастотный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе // УФН. 2008. Т. 178. № 5. С. 519–540.

*А.С. Моисеенко, А.Д. Романовский, студенты; К.В. Чан, асп.;
рук. С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПЛАЗМЫ НА УСТАНОВКЕ ПЛМ-М

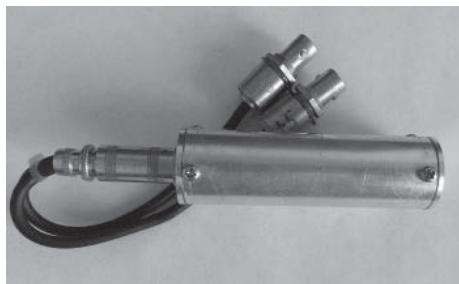


Рис. 1. Фотография болометра на основе кремниевого фотодиода

Для испытаний материалов как термоядерных, так и гибридных реакторов требуется стационарная замагниченная плазма. Её характеристики должны быть аналогичны периферийной плазме крупного токамака: температура электронов от 1 до 10 эВ с горячей электронной фракцией до 50 эВ, плотность плазмы $(1-10) \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Установка ПЛМ-М [1] — одна из нескольких уникальных плазменных установок, в которой возможно получить данные параметры плазмы. Исследования на этой установке позволят продвинуться в понимании физики взаимодействия горячей плазмы с материалами такими как вольфрам, молибден, сталь, материалы стенки и дивертора будущих термоядерных реакторов. Радиационные потери являются одними из основных каналов потери энергии плазмы токамака. В связи с этим измерения мощности радиационных потерь плазмы на установке ПЛМ-М — одна из главных задач ее диагностики.

Для измерения радиационных потерь плазмы на установке ПЛМ-М использовался болометр на основе кремниевого поверхностно барьерного фотодиода ФДУК-100УВ. На рис. 1 изображена фотография разработанного болометра.

Проведены измерения мощности радиационных потерь в условиях магнитного поля до 0.03 Тл и тока разряда до 20 А для широкого диапазона электронной плотности, определена доля радиационных потерь относительно вкладываемой мощности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 21-79-10281 и Министерства науки и высшего образования РФ (FSWF-2023-0016).

Литература

1. **VP Budaev et al** 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1383 012016.

В.А. Ячук, асп.; рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПИСАНИЯ МНОГОКРАТНОГО НЕУРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Один из самых распространённых методов анализа тонких пленок — рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Анализируя полученный РФЭС спектр и зная, на сколько это возможно точно, функции, описывающие движение электронов в исследуемых образцах, например, функцию пропускания, можно определить параметры исследуемых тонких пленок [1]. Научившись с достаточной точностью определять параметры создаваемых структур, можно создавать устройства с требуемыми свойствами.

В настоящей работе приведено численное решение уравнения переноса, учитывающее зависимость дифференциального сечения неупругого рассеяния от координаты рассеяния частицы по глубине образца. Необходимость учета зависимости дифференциального сечения приведена в [2]. Учет зависимости сечения рассеяния от глубины приводит описанию более сложной модели, которая в большей степени точности описывает рассеяние частиц. Это позволяет получать функции пропускания и рассеяния, используя которые можно рассчитывать параметры изучаемых объектов, например, толщин слоев. Для проверки сформулированной методики описания рассеяния использовалось сравнение с экспериментом, выполненным на установке Нанофаб 25, а также сравнение с моделированием методом Монте-Карло.

Моделирование с зависимостью сечения рассеяния от глубины приводит к необходимости учета зависимости средней длины свободного неупругого пробега от глубины. В качестве метода расчета был выбран метод Коулмана.

Расчет функции пропускания был проведен с использованием матричных расчетов.

Полученная функция пропускания позволяет получать информацию о структуре исследуемых объектов с большей точностью.

Литература

1. **Ridzel O.Y., Astašauskas V., Werner W.S.M.** Low energy (1–100 eV) electron inelastic mean free path (IMFP) values determined from analysis of secondary electron yields (SEY) in the incident energy range of 0.1–10 keV // *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*. — 2020.
2. **Li Y.C. et al.** Influence of the direction of motion on the inelastic interaction between electrons and solid surfaces // *Surface science*. — 2005. — Т. 589. — №. 1–3. — С. 67–76.

И.С. Григорьев, студ.; рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ НА ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

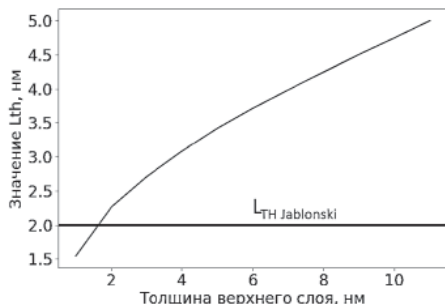


Рис. 1. Значение ожидаемой длины затенения L_{TH} в зависимости от толщины слоя

компенсации ошибок, связанных с упругим рассеянием, используется метод замены средней длины свободного пробега на длину затенения (attenuation length) [1], которая не зависит от толщины слоя.

В работе для учёта упругого рассеяния в сигналах РФЭС применяется метод Монте-Карло; создана программа, которая позволяет определять относительную интенсивность сигнала РФЭС с учётом упругого рассеяния для определения средней длины затенения в однослойных, двухслойных и многослойных мишенях.

Выполненный расчёт показывает, что длина затенения не может быть постоянна для всех толщин слоёв. На рисунке 1 показано ожидаемое значение длины затенения и вычисленное теоретически (L_{TH} Jablonski). Полученные результаты получают существенно увеличить точность расчёта толщин слоёв, определяемых методом РФЭС.

Литература

1. **Jablonski, A.** Evaluation of procedures for overlayer thickness determination from XPS intensities / A. Jablonski // Surface Science. — 2019. — № 688 (688). — С. 14–24.

С.А. Седельников, студ.;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ФАЗОВЫЙ И ПОСЛОЙНЫЙ АНАЛИЗ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) является одним из популярных методов анализа поверхности [1]. Спектр фотоэлектронов формируется нерассеянными, упруго рассеянными и неупруго рассеянными электронами. Неупруго рассеянные электроны не несут информации о структуре мишени, поэтому их вклад в спектр является нежелательным фоном, который при обработке спектра необходимо вычистить. При обработке спектра сначала выполняется качественный химический анализ — определение элементного состава мишени. Далее выполняется количественный химический анализ — определение относительных атомных концентраций элементов.

Далее выполняют фазовый анализ, суть которого заключается в том, чтобы описать фотоэлектронные пики методом суперпозиции пиков от различных фаз, находящихся в исследуемом образце. Фазовый анализ — это решение обратной (некорректной задачи), т.к. существует несколько решений, из которых необходимо выбрать то, которое отражает действительность. Фазовый анализ подразумевает решение двух задач: задачи вычитания фона и построения профиля линии. Облегчить выполнение фазового анализа можно, если использовать метод, в который изначально была заложена физическая основа. После выполнения фазового анализа приступают к выполнению послойного анализа.

В данной работе предложен метод совместного решения задачи вычитания фона и построения профиля линии. Для вычитания фона используется метод Лубенченко [2], т.к. в этом методе учитывается разный механизм потери энергии электронами в объеме и на поверхности мишени. Для построения профиля линии использовалась физически обоснованная модель, в которой учитывались спутные пики, спин-орбитальное взаимодействие. Был проанализирован спектр пленки чистого ниобия, полученные параметры использовались для анализа окисленной пленки ниобия, были рассчитаны толщины слоев.

Литература

1. **Фелдман Л., Майер Д.** Основы анализа поверхности и тонких пленок. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
2. **Lubchenko A.V. et al.** XPS study of multilayer multicomponent films // Applied Surface Science. 2018. Т. 427.

*Д.С. Лукьянцев, асп.; рук-ли: А.В. Лубенченко, д.т.н.,
Д.А. Иванов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТОНКИХ ПЛЁНОК

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (РФЭС УР) активно используется для определения химического послойного фазового состава тонких плёнок [1]. Применение известной методики [2], в которой модель мишени представлена в виде плоскопараллельных многокомпонентных слоёв, для исследования гладких образцов показывает удовлетворительные результаты. Однако для шероховатых образцов, на поверхности которых присутствуют наноразмерные неоднородности, интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров (РФЭ-спектры) довольно затруднительна. При зондировании плёнки под различными углами возникают эффекты затенения поверхности, причём их влияние на интенсивность РФЭ-спектров зависит от степени развитости поверхностного слоя, которые необходимо учитывать при анализе.

В настоящей работе предлагается усовершенствованная многослойная модель мишени, в которой поверхностный слой содержит неоднородности нанометрового масштаба. Предполагается, что неровности подчиняются нормальному распределению Гаусса и определяются тремя параметрами: средней и максимальной толщиной слоя, а также его дисперсией. В другой интерпретации, поверхностный слой состоит из периодических неоднородностей нанометрового масштаба, которые определяются следующими параметрами: линейными размерами и их периодичностью.

С помощью предложенного подхода были исследованы окисленные тонкие плёнки ниобия. Определены фазовой состав поверхности и пространственные характеристики поверхностных неоднородностей тонкой плёнки. Результаты подтверждены с помощью атомно-силовой микроскопии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-001.

Литература

1. **Lukiantsev D.S. et al.**, The Formation of nanosuboxide layers in the oxide of niobium in low-power ion beam of argon // IEEE. 2021. С. 1–4.
2. **Lubchenko A.V. et al.**, Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // J. of Phys.: Conf. Ser. IOP P. 2019. T. 1370. №. 1. С. 012048.

П.Б. Папин, студ.; рук. А.Ф. Глова, д.ф.-м.н., проф.
(АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Москва);

А.Ю. Лысиков, И.Д. Клочков, Е.Д. Радченко, Е.А. Буянова
(АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Москва)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЗА НА ПОРОГИ ПОДДЕРЖАНИЯ РАЗРЯДА В ОПТИЧЕСКОМ ПЛАЗМОТРОНЕ

Непрерывный оптический разряд в режиме лазерного плазматрона, работающего на смеси Ag с молекулярными добавками H_2 и CH_4 , применяется для синтеза алмазных покрытий на твердосплавном режущем инструменте [1]. Скорость синтеза зависит от состава и расхода смеси, поэтому определение пороговой мощности поддержания разряда в зависимости от этих параметров представляет практический интерес.

Излучение непрерывного CO_2 -лазера с радиусом пучка $r_0 = 20$ мм и расходимость $\gamma_0 = 1,75 \cdot 10^{-4}$ рад фокусируется в плоскости площадью $S = 1,33$ см² после перетяжки сопла плазматрона выпукло-плоскими линзами из силивина с фокусным расстоянием $f = 161$ или 176 мм. Радиус фокального пятна r_f , вычисленный с учетом сферических aberrаций линзы, составляет 0,137 и 0,122 мм для $f = 161$ и 176 мм, соответственно.

На рисунке приведены зависимости пороговой мощности $P_{пор}$ от расхода газа Q для разряда в Ag и смеси Ag с варьируемой концентрацией H_2 и CH_4 . Численная связь между скоростью потока $V = Q/S$ и Q имеет вид $V[\text{см/с}] = 12,5Q$ [л/мин]. Практически для всех составов газа уменьшение f приводит к росту $P_{пор}$, связанному с увеличением r_f . А появление пиков теплопроводности на границе разряда при диссоциации молекулярных добавок [2], сопровождается возрастанием $P_{пор}$ в смеси по сравнению с Ag.

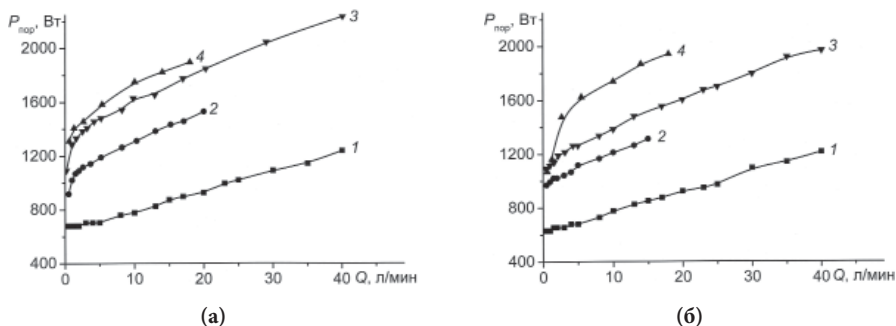


Рис. 1. Зависимости $P_{пор}$ от Q в Ag (1) и смеси Ag: H_2 : $CH_4 = 1:0,07:0,0021$ (2), $1:0,14:0,0021$ (3) и $1:0,07:0,0042$ (4) при $f = 161$ (а) и 176 мм (б)

Литература

1. Glova A.F., Klochkov I.D., Lysikov A.Yu., Knyazeva L.I., Kirichenko A.N. and Barsuk V.A. Laser Plasmatron Application for Diamond Coatings Deposition on a Carbide Cutting Tool // Physics of Atomic Nuclei. 2022. V. 85. No. 10.
2. Райзер Ю.П. Оптические разряды // УФН. 1980. Т. 132. Вып. 3.

Х.Ю. Попандопуло, Г.А. Мишин, студенты;
рук. Ю.В. Вершинина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ТЕЧЕНИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

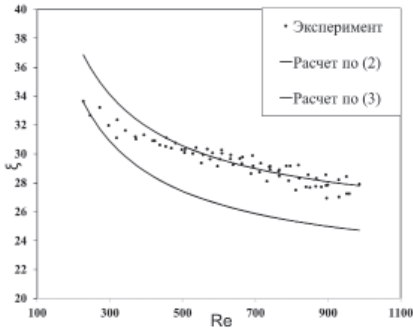


Рис. 1. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса

— (0,075-0,65) кг/с. Получены данные о потерях давления, коэффициенте гидравлического сопротивления при течении теплоносителя в пористой среде. На рис. 1 представлена зависимость экспериментальных и рассчитанных по данным из литературы значений коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса.

Гидравлическое сопротивление шарового слоя при однофазном течении определялось по формуле Дарси-Вейсбаха

$$\xi_{\text{эксп}} = 2 \frac{\Delta p d_{\text{ш}}}{H \rho U_{\text{ф}}^2}, \quad (1)$$

где Δp — падение давления в шаровой засыпке, $U_{\text{ф}} = G/S_{\text{п}}$ — скорость фильтрации жидкости, G — объемный расход, $S_{\text{п}}$ — поперечное сечение.

$$\xi = \frac{0,54}{\varepsilon^4} \left(1 + \frac{10}{Re_{\text{стр}}^{0,7}} + \frac{100}{Re_{\text{стр}}} \right), \quad (2)$$

$$\xi = \frac{1,53}{\varepsilon^{4,2}} \left(0,335 + \frac{3}{Re_{\text{стр}}^{0,7}} + \frac{30}{Re_{\text{стр}}} \right), \quad (3)$$

где $Re_{\text{стр}} = \frac{0,45 Re}{\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)}}$ — число Рейнольдса струйное

В результате работы определена расчетная формула — (3) аппроксимирующая экспериментальные данные гидравлического сопротивления.

Г.А. Мишин, Х.Ю. Попандопуло, студенты;
рук. Ю.В. Вершинина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ С ВНУТРЕННИМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕМ

Использование тепловыделяющих сборок с микротрещинами на атомных станциях малой мощности, позволит значительно увеличить их безопасность. Предполагается, что микротрещины в таких сборках находятся между перфорированными чехлами в виде свободной засыпки и охлаждаются теплоносителем. В настоящей работе проведено исследование гидродинамики и теплообмена в шаровой засыпке с внутренним тепловыделением. Высота засыпки $H = 100$ мм, пористость засыпки $\epsilon = 0,399$, диаметр шарика $d_{ш} = 2,0$ мм, теплоноситель — дистиллированная вода, диапазон массовых скоростей (24,6–236,1) кг/м²·с, мощность индукционного нагрева до 15 кВт. Получены данные о потерях давления, коэффициентах теплоотдачи (КТО) при однофазной вынужденной конвекции.

На основе показаний термопар, объединённых в элементы для определения температуры стенки шарика и жидкости, были рассчитаны локальные коэффициенты теплоотдачи в нескольких сечениях по высоте засыпки. Зависимость осреднённого коэффициента теплоотдачи и потерь давления от массовой скорости теплоносителя представлена на рис. 1.

На рис. 1 наблюдается рост КТО и потерь давления с увеличением массовой скорости, что является закономерным, а также видно, что мощность нагрева практически не оказывает влияния на потери давления.

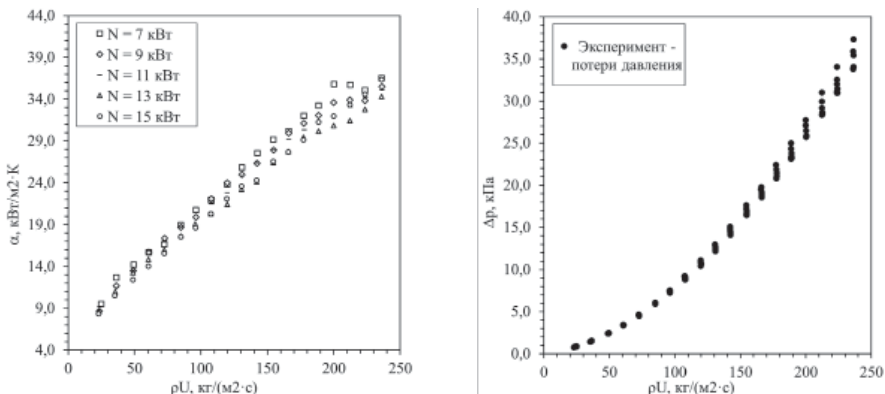


Рис. 1. Зависимость осредненного КТО и потерь давления от массовой скорости

Р. Идеал, асп.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рентгеновское излучение плазмы является одним из важных источников информации о её параметрах, таких как температура электронов, содержание примесей, эффективный заряд плазмы. При низкой температуре электронов плазмы (менее 500 эВ) излучение плазмы возникает в длинноволновом крае диапазона электромагнитного излучения (называемого мягким рентгеновским излучением). Для регистрации рентгеновского излучения в таком диапазоне можно применять полупроводниковые детекторы (ППД), которые выделяются своей компактностью, достаточно широким диапазоном регистрируемых энергий излучения, малым временем регистрации сигнала, высоким энергетическим разрешением. Принцип работы ППД основан на взаимодействии гамма-кванта с кристаллом детектора. Величина создаваемого в кристалле заряда пропорциональна поглощённой энергии. Для высокого энергетического разрешения кристалл детектора должен соответствовать строгим требованиям. Наиболее распространены кристаллы из кремния и германия, применяются природные алмазы, иодид ртути, теллурид кадмия, теллурид-кадмий-цинк. Для регистрации мягкого рентгеновского излучения в диапазоне энергий от 2 кэВ до 15 кэВ обычно используются кремний-литиевые Si(Li) и кремний-дрейфовые SDD (с кристаллом высокой чистоты) детекторы, при энергиях от 15 кэВ до 100 кэВ используются детекторы из чистого германия Ge или кадмий-теллуровые CdTe. SDD и CdTe выгодно отличаются тем, что они могут работать и храниться, не требуя интенсивного охлаждения. ППД из алмазов имеют преимущества кремниевых детекторов и обладают высокой радиационной стойкостью.

В данной работе для создания диагностики плазмы с температурой электронов ниже 500 эВ были проанализированы данные о чувствительности детекторов. Проведена калибровка Si(Li) детектора, его энергетическое разрешение составило 270 эВ на пике 5,9 кэВ. Предложены детекторы для диагностики плазмы в современных токамаках. Разработана схема диагностики на токамаке, ППД устанавливается снаружи камеры токамака, регистрирует суммарный сигнал рентгеновского излучения из зоны объёма плазмы, которая находится вдоль «линий наблюдения».

Литература

1. **Xu Ping et al.** // Plasma Sci. Technol. 2009, 11, 468.

*Д.А. Тупотилов, А.С. Демидов, асп.; Д.А. Гроо, студ.;
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОХЛАЖДЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ПОВЕРХНОСТИ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

Одной из проблем, часто встречающейся в промышленности, является недостаточно эффективное охлаждение элементов конструкций подверженных высоким тепловым нагрузкам с плотностью энергии порядка нескольких МВт/м² [1]. Это характерно для таких областей, как аэрокосмические и ядерные технологии, микроэлектроника. Поиск новых методов интенсификации теплообмена является особенностью внедряемых сегодня конструктивных элементов и технологий. Наибольшее внимание привлекли три: мини/микрочанальная, струйная и распылительная [2]. В работах [3, 4] авторы показали, что использование дисперсного потока в качестве теплоносителя при тепловых нагрузках в несколько МВт/м² может быть перспективным методом охлаждения.

Целью измерений было изучение возможности термостабилизации поверхностей, подвергающихся тепловым нагрузкам порядка нескольких МВт/м², охлаждаемых дисперсным потоком теплоносителя. Рабочий модуль, установленный в вакуумной камере, представляет собой цилиндрический сосуд, изготовленный из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, состоящий из трех основных элементов: верхний фланец, корпус и нижний фланец подключения. В центре верхнего фланца установлена мишень, выполненная из меди марки М0. Температурное поле в рабочем участке фиксируется с помощью термопар, расположенных на разной глубине. В ходе экспериментов измерялись как электрические параметры электронного пучка, так и термодинамические параметры компонентов потока диспергированного теплоносителя. В результате экспериментов было получено распределение температуры по толщине рабочего участка для различных параметров дисперсного потока теплоносителя.

Литература

1. **Liang G., Mudawar I.** Review of spray cooling—Part 1: Single-phase and nucleate boiling regimes and critical heat flux // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2017. — Т. 115. — С. 1174–1205.
2. **I. Mudawar.** Recent advances in high-flux, two-phase thermal management. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 5 (2013), p. 021012.
3. **Lyublinski I.E., Mirnov S.V., Komov A.T. et al.** Innovative method of cooling and thermostabilization of tokamak elements with capillary-porous structures. — J. of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 891(1), p. 012152.
4. **Vertkov A.V., Komov A.T., Lyublinski I.E. et al.** The use of dispersed gas-liquid flow for cooling of the tokamak t-10 liquid metal limiter — Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion, 2018, 41(1), p. 57–64.

*Д.А. Гроо, студ.; А.С. Демидов, Д.А. Тупотилов, аспиранты;
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. МОДИФИКАЦИИ ДЛЯ УСТАНОВОК «ТВС «МЭИ» И «ДИСПЕРГИРОВАННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ МИШЕНИ»

Ранее был разработан шаблон программы для сбора, обработки и хранения данных [2], внедрение которого было первоначально осуществлено на экспериментальной установке кафедры ОФиЯС «Односторонний нагрев теплонагруженной мишени».

Так как блоки записи, обработки и администрирования программного комплекса практически не зависят от конкретной установки, важнейшей задачей являлось внедрение программы в приборы сбора данных, используемых на других экспериментальных установках научной группы. Так, модифицированная версия программного комплекса позволяет проводить теплофизические исследования на установках «ТВС «МЭИ» и «Диспергированное охлаждение мишени», использующих в качестве приборов сбора данных высокоскоростное шасси PXI компании National Instruments и измерительный модульный крейт L-card соответственно.

Кроме того, в программный комплекс добавлена возможность проводить несколько расчетов в режиме реального времени — первичная обработка данных. Так, варианты программы, использующиеся на установках диспергированного охлаждения, включают в себя настраиваемую первичную оценку плотности теплового потока, а также продольные и поперечные температурные поля на поверхностях нагрева и охлаждения. На экспериментальном стенде «ТВС «МЭИ» реализованы расчет уровня теплоносителя по показаниям статического давления, а также расход теплоносителя через диафрагму по измеряемой разности давлений и характеристикам диафрагмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 21-79-10179).

Литература

1. А.С. Демидов, А.В. Захаренков, А.Т. Комов и др. Охлаждение диспергированным потоком поверхности, подверженной высокой тепловой нагрузке // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. — 2023. — т. 46. — вып. 2.
2. Д.А. Гроо, Д.А. Тупотилов, А.С. Демидов, А.В. Захаренков. Программный комплекс для сбора, обработки и хранения информации теплофизических исследований на стенде «Односторонний нагрев» // Сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием «Енисейская Теплофизика — 2023».

А.И. Губанова, студ.; рук. М.К. Губкин, к.ф.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВЫСАДКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА КОЛЛЕКТОРЕ ГИРОТРОНА

В настоящее время на установке Т-15МД, расположенной в комплексе плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт», в качестве системы дополнительного нагрева плазмы используется гиротрон, имеющий рабочую частоту 82,6 ГГц и мощность ~1 МВт [1].

Гиротрон устанавливается в криомагнит, который создает поле 3,27 Тл, в резонаторной области прибора. Электронный пучок, эмитируемый с катода, проходит резонаторную область, где частицы группируются по скоростям и формируют СВЧ-излучение. Отработанный пучок электронов направляется на охлаждаемую часть гиротрона — коллектор, где происходит теплосъем. Для обеспечения равномерного распределения тепловой нагрузки на коллектор в гиротроне предусмотрена система коллекторных катушек, состоящая из статической и динамической секций.

При нарушении равномерного распределения энергоснабжения может наблюдаться локальное увеличение плотности мощности, таким образом коллектор подвергается высоким тепловым нагрузкам. Неисправность коллектора гиротрона приводит к вынужденной остановке прибора, а значит, к изменению физической программы и сценариев разряда кампании на токамаке.

Параметры коллекторных катушек были рассчитаны производителем гиротронов, компанией ЗАО НПП «ГИКОМ». Тем не менее, ввиду решения задачи о влиянии внешних магнитных полей, создаваемых криомагнитами соседних гиротронов и установкой Т-15МД, было принято решение оценить местоположение выхода электронного пучка на коллектор под воздействием собственной магнитной системы гиротрона. Данная задача является первым и необходимым этапом при рассмотрении вопроса о влиянии внешних рассеянных полей на работу гиротронного комплекса.

Рассчитано, что при выключении коллекторных катушек координата места высадки пучка составляет ~890 мм и остается неизменной (ноль расположен в центре резонатора). При амплитуде тока 10 А в динамической секции коллекторных катушек с периодом 60 мс и при токе 2 А в статической секции решалась нестационарная задача. Были определены координаты высадки пучка с интервалом 1 мс с учетом вращательного движения частиц по Ларморовским орбитам.

Литература

1. Г.Г. Денисов, В.И. Малыгин, А.И. Цветков и др., Известия вузов. Радиофизика, том LXIII, № 5–6, стр. 369.

Секция 43

ТЕПЛОФИЗИКА

Thermophysics

Председатель секции: д.ф.-м.н., профессор Синкевич Олег Арсеньевич

Секретарь секции: к.т.н. Глазков Василий Валентинович

У.А. Грузинцева, студ.; рук. И.А. Молотова, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГОРЯЧИХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ

Целью работы является экспериментальное изучение процессов охлаждения высокотемпературных тел в жидкостях при пленочном и интенсивном режимах кипения. Исследование представляет интерес применительно к различным отраслям промышленности, таким как металлообработка, целлюлозно-бумажная промышленность, тепловая и атомная энергетика.

Рабочими образцами являются цилиндры длиной 40–50 мм и диаметром 10 мм, выполненные из различных металлов. Экспериментальные исследования проводились при атмосферном и повышенном давлении на установке, схема которой представлена в [1]. В качестве охлаждающих жидкостей использовались вода, этанол, смеси этанол-вода различных концентраций. В процессе экспериментов получены зависимости температур от времени — термограммы охлаждения.

Опытные результаты демонстрируют влияние теплофизических свойств охлаждающих жидкостей и охлаждаемых поверхностей на температуру перехода ($T_{\text{ц}}$) к интенсивному охлаждению. Так, в жидкостях с высокой теплотой парообразования и поверхностным натяжением, а также низкой вязкостью процессы протекают более интенсивно. Результаты демонстрируют рост $T_{\text{ц}}$ при охлаждении металлических образцов с низкой тепловой активностью. Кроме того, на характеристики охлаждения оказывают влияние микроструктура охлаждаемой поверхности, толщина наносимого покрытия, наличие оксидного слоя.

Полученные результаты используются для сопоставления экспериментальных температур перехода со значениями, рассчитанными по физической модели возникновения высокоинтенсивного режима охлаждения [2]. Большая часть точек (около 75 %) попадает в интервал $\pm 30\%$ от вычисленных значений.

Литература

1. **Zabirov A.R., Yagov V.V., Kalita V.I., Radyuk A.A., Molotova I.A., Belyaev I.A.** Heat transfer under quenching of cylindrical bodies in subcooled liquids // Nucl. Eng. Des. — 2021. — Т. 383. — С. 111380.
2. **Канин П.К.** О механизме дестабилизации паровой пленки при нестационарном пленочном кипении // ТВТ. — 2023. — Т. 61. — №. 2. — С. 241–250.

Д.М. Баранова, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОБРАТНОГО ВИХРЕВОГО КАСКАДА В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

В работе аналитически и экспериментально исследуется возникновение и развитие конвективных вихревых структур на ранних стадиях естественно-конвективных течений в плоском обогреваемом снизу слое жидкости. Основной целью исследования является определение характерных размеров образующихся первичных термик и их влияние на образование структур следующего уровня. Рост возникающего у обогреваемого дна сосуда теплового пограничного слоя в аналитических оценках принимается квазистационарным, вследствие чего для оценки полученных результатов можно рассматривать задачу об устойчивости стационарного плоского обогреваемого снизу слоя, или задачу Рэлея [1]. С ее помощью вычислены теоретические значения характерных размеров возникающих неустойчивостей, которые на последующих стадиях развития превращаются в термики. Так как первыми в системе возникают вихревые структуры наименьшего размера, и лишь далее возникают структуры больших размеров, то в системе наблюдается своеобразный обратный вихревой каскад.

Для проверки полученных теоретических значений были проведены эксперименты в обогреваемом снизу сосуде с прозрачными стенками. Как и предполагалось, при развитии образующегося снизу в сосуде тонкого прогретого слоя возникающие в жидкости возмущения затухали за счет вязкости и теплопроводности вплоть до момента, когда характерное число Рэлея достигало своего критического значения. Возмущения с этого момента начинают нарастать и вблизи обогреваемой поверхности возникают термики первого уровня, что фиксируется видеоаппаратурой. В ходе эксперимента фиксируется время от начала нагрева до образования конвективных вихрей, а также время затухания этих вихрей после выключения обогрева. Полученные экспериментальные данные позволяют определить характерные размеры и сравнить их с полученными теоретическими значениями. Так как при возникновении первичных термик в системе кардинально меняется механизм переноса тепла и импульса (с молекулярного на конвективный), это радикально меняет условия для последующего развития конвективных структур больших размеров.

Литература

1. **Линь Цзя Цао.** Теория гидродинамической устойчивости. М.: Издательство иностранной литературы. 1958.

Е.Е. Перевощиков, студ.;
рук. Д.И. Жуховицкий, д.ф.-м.н., ст.н.с. (ОИВТ РАН, Москва)

НУКЛЕАЦИЯ В НЕИДЕАЛЬНОМ БЫСТРО ОХЛАЖДАЮЩЕМся ПАРЕ

При быстром охлаждении системы происходит переход через бинадаль в метастабильную область, за которым следует «конденсационный взрыв» — интенсивное образование микрокапель жидкой фазы. Численное моделирование подобный процесс осуществляют методом молекулярной динамики (МД), что требует значительных вычислительных мощностей. В данной работе предлагается аналитический подход к решению этой задачи и сопоставление аналитических расчётов с результатами МД-моделирования быстро охлаждающейся системы.

В ранних работах были найдены приближённые аналитические решения для взрывной нуклеации при быстром адиабатическом расширении пара в вакуум [1] и для случая охлаждения пара при заданных температуре и давлении как функциях времени [2]. Однако эти работы рассматривали пар как идеальный газ, что не соответствует реальности.

Найденное аналитическое решение задачи о кинетике нуклеации быстро охлаждаемого пара, основывающееся на двухпараметрической модели (ДПМ) «горячих» кластеров [3], корректно учитывающей зависимость работы образования кластера от его размера и существующую неидеальность пара, показывает качественное отличие [4] от подхода с использованием КТН: существование области параметров, где ДПМ предсказывает метастабильное состояние, а КТН — лабильное.

Впервые проведено МД-моделирование нуклеации в леннард-джонсовской системе для случая, когда скорость образования сверхкритических кластеров можно считать квазистационарной. Продемонстрировано качественное согласие с концепцией ДПМ и удовлетворительное согласие с расчётами основных параметров процесса по аналитической модели. Это, в частности, относится к температуре системы, концентрации сверхкритических кластеров и пересыщению в точке максимума последнего.

Литература

1. **Ю.П. Райзер.** О конденсации в облаке испарённого вещества, расширяющегося в пустоту // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. № 6.
2. **Д.И. Жуховицкий, А.Г. Храпак, И.Т. Якубов.** Кинетика конденсации шлама в канале МГД-генератора. «Взрывная конденсация» // ТВТ. 1983. Т. 21, № 5.
3. **D.I. Zhukhovitskii.** Enhancement of the droplet nucleation in a dense supersaturated Lennard-Jones vapor. // J. Chem. Phys. 2016. V. 144. № 184701.
4. **Е.Е. Перевощиков, Д.И. Жуховицкий.** Нуклеация в неидеальном быстро охлаждающемся паре // ЖЭТФ. 2024. Т. 165. № 1. Принято в печать.

Е.А. Калашникова, студ. ;
 рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НИХ

Несмотря на то, что грозовые явления известны и наблюдаемы с самых ранних времен, проблема их описания до сих пор далека от полной ясности. С объяснением механизма возникновения сильных электрических полей в грозовых облаках ситуацию также нельзя назвать удовлетворительной. Существуют несколько десятков возможных механизмов зарядки капель в грозовом облаке, однако какой из них и когда превалирует — вопрос до сих пор остается открытым [1, 2]. В данной работе описана модель циркуляции воздушных масс в мезомасштабном атмосферном вихре. Рассматривается тороидальный вихрь с характерным размером 5 км. Предполагается, что в центре вихря, где имеет место подъемное течение, изменение давления по высоте соответствует влажноадиабатическому градиенту, в то время как на периферии давление распределено в соответствии с сухоадиабатическим градиентом. Определены средние скорости циркуляции потока. Разработана модель процесса роста капель в восходящем воздушном потоке, определены высоты выпадения капель в виде осадков. Построены траектории движения капель различного размера в воздушном потоке.

Для понимания взаимодействия капель в грозовом облаке, исследовались процессы столкновения и слияния капель, парящих над нагретой поверхностью в режиме Лейденфроста (рис. 1.) Проведено сравнение полученных данных с ранее известными работами по столкновению капель [3].

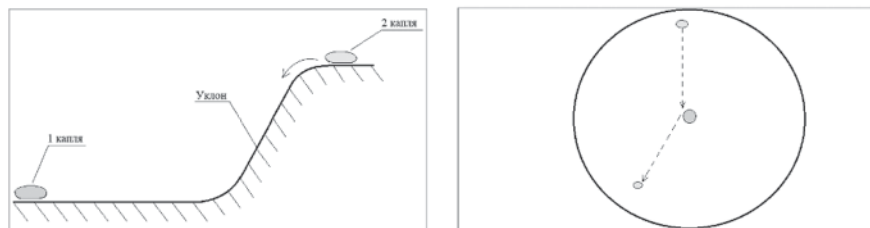


Рис. 1. Процесс столкновения капель, подвешенных над поверхностью в режиме Лейденфроста

Литература

1. Мучник В.М. Физика грозы. СПб.: Гидрометеиздат, 1974. с. 352.
2. С. Saunders. Charge Separation Mechanisms in Clouds // Space Sci Rev (2008) 137: 335–353/ DOI 10.1007/s11214-008-9345-0
3. Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак, Столкновения капель жидкости разной формы в газовом потоке, Письма в ЖТФ, 2019, том 45, выпуск 6, 23–26.

Е.А. Лиджиев, студ.;
рук. Н.В. Васильев, к.т.н., с.н.с. (ОИВТ РАН, Москва)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАРОВОГО ВЗРЫВА МЕЖДУ ОТДЕЛЬНЫМИ КАПЛЯМИ РАСПЛАВОВ СОЛИ И ОЛОВА В УСЛОВИЯХ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ТРИГГЕРИНГА ПРОЦЕССА

Опасное явление парового взрыва (резкого вскипания холодной жидкости при погружении в нее расплава с температурой выше ее предельного перегрева) может возникать при авариях в ряде отраслей промышленности: атомной, металлургической, целлюлозно-бумажной. Научные исследования данного явления многочисленны [1, 2], но до сих пор не существует единой теории, объясняющей все аспекты происходящего процесса.

В работе представлено экспериментальное исследование процесса парового взрыва в воде на расплавленных каплях (массой несколько грамм) соли (NaCl) и олова. Эксперименты проводились при температуре капель расплавов в диапазоне 850–1100°C и температуре воды 20–60°C. Ввиду быстрого протекания процесса в качестве основного инструмента исследования использовалась высокоскоростная видеосъемка (с частотой кадров до 180 кГц и временем экспозиции до 1 мкс).

В результате проведенных экспериментов продемонстрирована «цепная реакция» передачи импульса парового взрыва между отдельными каплями расплавов NaCl и олова от места начального самопроизвольного триггеринга на капле соли. Зафиксированы локальные возмущения паровой пленки перед началом самопроизвольного взрыва на первой капле NaCl, отсутствующие при распространении взрыва на последующих каплях, которые невозможно зарегистрировать при использовании методики искусственного триггеринга процесса. Таким образом, показана наибольшая адекватность реальным условиям методики использования в экспериментальном исследовании самопроизвольного (естественного) инициирования процесса парового взрыва по сравнению с внешним (искусственным) триггерингом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01062.

Литература

1. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е. Термическое взаимодействие высокотемпературных расплавов с жидкостями // Теплофизика высоких температур. 2022. Т. 60. № 2. С. 280–318.
2. Вавилов С.Н., Васильев Н.В., Зейгарник Ю.А. Паровой взрыв: экспериментальные наблюдения // Теплоэнергетика. 2022. № 1. С. 78–84.

М.И. Чернышова, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭВОЛЮЦИЯ ВИХРЕЙ В ВИХРЕВОЙ ДОРОЖКЕ ЗА ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫМ В ЖИДКОСТЬ ОДИНОЧНЫМ ЦИЛИНДРОМ ПРИ УМЕРЕННЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

В работе изучается эволюция аэродинамического следа, генерируемого за одиночным цилиндром с полусферическим концом, частично погруженным в жидкость. Диапазон исследуемых чисел Рейнольдса $Re_d = 50 \div 350$ при глубине погружения цилиндра $h/d = 1 \div 3$, где d — диаметр цилиндра, h — высота погружения в жидкость. При заданных параметрах наблюдается возникновение вихревой дорожки в следе за цилиндром.

Данная задача интересует нас в связи с исследованием охлаждения поверхности за счет кипения на ней свободных струй жидкости. В таких случаях температура стенки первоначально значительно выше температуры кипения натекающего вещества, что ведет к образованию парового слоя и реализации режима пленочного кипения. Толщина паровой пленки составляет около 10–20 мкм, что сопоставимо с размерами шероховатостей поверхности.

В работе рассматривается возможность генерации вихрей при обтекании неровностей стенки. Предполагается, что в процессе возникают микровихри. Несмотря на малые размеры, вихри имеют достаточно большие значения скоростей — 1–3 м/с. Значения чисел Рейнольдса в этом случае лежат в интервале 100–300.

Изучение эволюции вихрей в аэродинамическом следе за частично погруженным в жидкость одиночным цилиндром позволит определить изменения характера вихревого течения, длину и толщину слоя вихревого движения в слое жидкости над паровой пленкой.

Генерация вихрей на поверхностях шероховатостей может оказать значение на снятие теплового потока со стенки, поддающейся охлаждению, так как неровности, проникая через паровой слой, будут действовать как микроребра, отводящие тепловой поток от горячей поверхности к жидкости.

Литература

1. **Leocadio H., Passos J. C.** Experimental investigation of heat transfer characteristics during water jet impingement cooling of a high-temperature steel surface // *Ironmaking & Steelmaking*. — 2021.
2. **Williamson, C.H.K.** Vortex dynamics in the cylinder wake // *Annual Review of Fluid Mechanics* — 1996.

Е.С. Готовцева, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВИХРЕВЫХ ДОРОЖЕК ЗА ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫМИ В ЖИДКОСТЬ ЦИЛИНДРАМИ ПРИ УМЕРЕННЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

В работе рассматривается обтекание группы частично погруженных в жидкость тел в диапазоне чисел Рейнольдса от 50 до 300. При обтекании частично погруженного в жидкость тела за ним образуется вихревая дорожка с характеристиками, близкими к дорожке Кармана. При обтекании нескольких (в рассмотренном случае двух) тел, расположенных в одном канале, образующиеся вихревые дорожки могут взаимодействовать, порождая слияние вихрей. В случае если сливаются два противоположно направленных вихря, они образуют вихревое кольцо. Вихревые кольца имеют достаточно продолжительное время жизни. Слияние двух однонаправленных вихрей может привести к появлению вихря большего размера, время жизни которого так же больше, чем у одиночного вихря.

В проведенных в работе опытах два цилиндра погружаются в жидкость, текущую в канале со скоростью в диапазоне 1–5 см/с. Каждый цилиндр имеет диаметр 5 мм, их концы, которые погружаются в воду, закруглены и представляют из себя полусферу, глубина погружения превышает диаметр. Эксперименты проводятся при числах Рейнольдса от 50 до 300.

Результаты поставленных опытов можно обобщить на микровихревую картину, возникающую при охлаждении раскаленной поверхности струей жидкости [1]. Из-за того, что жидкость не может коснуться слишком горячей поверхности, образуется паровая пленка. На охлаждаемой поверхности существуют неровности, имеющие размер около 10–30 мкм, и на поверхности парового слоя они обтекаются жидкостью со скоростями 1–3 м/с. Числа Рейнольдса в данном случае соответствуют диапазону, полученному при обтекании цилиндров в проведенных экспериментах. Обтекание неровностей, проникающих в жидкость сквозь приповерхностный паровой слой, в таком случае приводит к появлению множества вихревых дорожек, взаимодействующих друг с другом. В результате можно ожидать возникновение интенсивного микровихревого движения, существенным образом влияющего на теплообмен.

Литература

1. **Leocadio H., Passos J.C.** Experimental investigation of heat transfer characteristics during water jet impingement cooling of a high-temperature steel surface // *Ironmaking & Steelmaking*. — 2021.

*И.А. Зубрицкий, студ. (НИУ «МЭИ»);
рук. Ю.Б. Шмельков, к.т.н. (НИЦ Курчатовский институт)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ АЭС ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЯХ НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НУКА

Обеспечение безопасности водородной безопасности АЭС является важной задачей, что продемонстрировал анализ аварии на АЭС «Фукусима» [1]. Для моделирования процессов, связанных с горением водорода, необходима разработка реалистических моделей и их валидация на экспериментальных данных. Одним из таких экспериментов является исследование процессов горения водорода на экспериментальной установке НУКА [2].

В данной работе представлены результаты валидации моделей горения ПС АНГАР [3] на экспериментах НУКА. Рассмотрены 3 варианта расчетных схем, проведен сравнительный анализ результатов (см. рис. 1). В расчетной схеме № 1 реализована горизонтальная нодализация на 5 помещений; в расчетной схеме № 2 реализована как горизонтальная, так и вертикальная нодализация на 29 помещений; в расчетной схеме № 3 реализована вертикальная и горизонтальная нодализация на 14 помещений. Показано, что лучшая сходимость с экспериментальными данными наблюдается для расчетной схемы № 3, с вертикальной нодализацией.

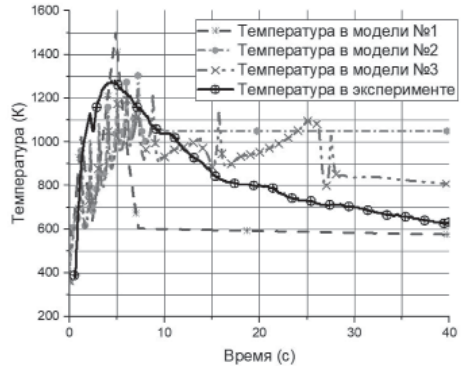


Рис. 1. Сравнение результатов для температуры среды в установке НУКА

Литература

1. Overview of Fukushima-Accident Analysis; Fukasawa M.; 2012.
2. Simulation of Hydrogen Deflagration Experiment — Benchmark Exercise with Lumped-Parameter Codes; I. Kljenak, Mike Kuznetsov, P. Kostka, L. Kubišová, M. Maltsev, G. Manzini, M. Povilaitis; Nuclear Engineering and Design. v.283; 2015.
3. Программа АНГАР. Аттестационный паспорт программного средства № 296 от 29 сентября 2011 г.

Н.А. Краснов, студ.; рук. И.А. Молотова, ассист. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГОРЯЧИХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ

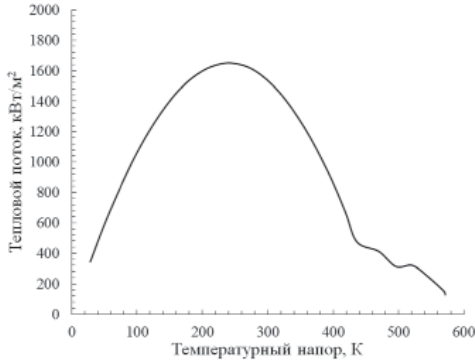


Рис. 1. Зависимость теплового потока от температурного напора при охлаждении цилиндра из сплава FeCrAl в воде 60 °С

Охлаждение горячих тел в жидкостях наблюдается в различных технологических процессах, в частности, в атомной энергетике при возникновении аварийных ситуаций на АЭС. Так, в случае аварии с потерей теплоносителя (LOCA) необходимо как можно быстрее охладить разогретые до высоких температур тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). При этом требуется изучение характеристик теплообмена при охлаждении высокотемпературных ТВЭЛов с различными металлическими оболочками.

В данной работе представлены результаты численного моделирования в программе «Ansys Fluent», в которой решалась обратная задача теплопроводности (ОЗТ) в двумерной осесимметричной постановке. В результате расчетов получены коэффициенты теплоотдачи и отводимые тепловые потоки при охлаждении цилиндров в различных недогретых жидкостях. Условия на поверхности образца восстанавливались с использованием экспериментальных данных, полученных при охлаждении высокотемпературных цилиндров длиной 50 мм и диаметром 10 мм [1]. На рисунке приведен пример кривой кипения, полученной при решении ОЗТ для охлаждения в воде 60 °С цилиндра из сплава FeCrAl.

Литература

1. Zabirov A.R., Yagov V.V., Kalita V.I., Radyuk A.A., Molotova I.A., Belyaev I.A. Heat transfer under quenching of cylindrical bodies in subcooled liquids // Nucl. Eng. Des. — 2021. — Т. 383. — С. 111380.

И.В. Попов, студ.;
рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В работе рассматривается задача восстановления температурного поля внутри твердого тела по результатам измерения температуры в отдельных его точках.

Решение подобных задач, как правило, требует применения тех или иных методов регуляризации. В монографии [1] рассматриваются различные подходы к решению данной проблемы. Мы остановили свой выбор на сравнительно новом методе, использующим фрактальные вычисления для задач регуляризации; подобный метод рассматривается в статье [2].

Данный метод используется для поиска решения возмущенной системы уравнений

$$Ax = b + \delta, \quad (1)$$

где вектор правой части возмущен некоторым случайным образом.

В настоящей работе используется так называемый метод дробной регуляризации Тихонова (Fractional Tikhonov Regularization), в котором применяется дробная норма вместо l_2 :

$$\Gamma_{frac} = \min_x (\|Ax - b\|_W^2 + \lambda \|x\|_2^2), \quad (4)$$

$$W = (AA^T)^{\frac{(\alpha-1)}{2}} \quad (5)$$

Изложенный метод пригоден для рассмотрения решения задачи теплопроводности, записанной в конечных разностях, когда граничные условия, выставленные для температуры, испытывают малые нерегулярные возмущения. Например, для задачи о теплопроводности внутри шара с граничными условиями 1-го рода система уравнений может быть сформулирована как:

$$\begin{cases} \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) = 0 \\ T|_{r=R} = f(\theta) + \varepsilon(\theta) \end{cases} \quad (6)$$

Литература

1. **Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.** Методы решения некорректных задач — 2 изд-ие. М.: Наука, 1979.
2. **Prakash J., Sanny D., Kalva S. K., Pramanik M., Yalavarthy P. K.** Fractional Regularization to Improve Photoacoustic Tomographic Image Reconstruction // IEEE Transactions on Medical Imaging. 2018. 0278-0062.

О.Ю. Савушкин, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ГАЗЛИФТ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ГЦН ДЛЯ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ С ТЯЖЕЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

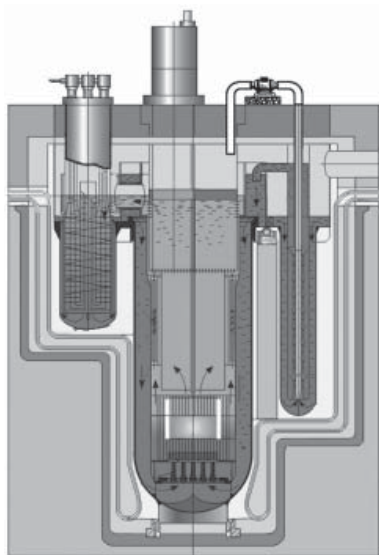


Рис. 1. Брест ОД-300 с газлифтом

В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию быстрых реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Работы по реактору БРЕСТ ОД-300 идут наиболее интенсивно. Однако проблемы с коррозией элементов реактора в целом нельзя назвать удовлетворительно решенной [1]. Одним из ключевых элементов определяющим работу ядерного реактора (ЯР) является ГЦН создание которого для перекачки свинца при температуре 500 градусов Цельсия встречает значительные трудности. В данной связи можно рассмотреть насосы, работающие по принципу газлифта в качестве альтернативы ГЦН стандартной конструкции. Газлифтные насосы не имеют движущихся частей и отличаются повышенной надежностью, хотя их КПД примерно в 2.5 раза ниже обычных насосов [2].

В работе рассмотрена газлифтный насос в качестве альтернативы ГЦН в проекте БРЕСТ ОД-300, см. рис. 1. По методике [2]

был произведен расчет параметров газлифтного насоса:

Проведенные оценки показали, что использование газлифтного насоса в качестве ГЦН на реакторе БРЕСТ ОД-300 является принципиально возможным, рост энергопотребления ГЦН является относительно умеренным, и данная замена выглядит перспективной.

Литература

1. **Б.И. Нигматулин, В.А. Пивоваров.** Реакторы с жидкометаллическим теплоносителем. История трагедии и фарса. — М.: «Литтерра», 2023.
2. **Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко.** Энциклопедия эрлифтов. Донецк, 1995 г. — 592 стр.

Д.В. Ширяев, студ. (НИУ «МЭИ»)

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЯЧЕЙКЕ ТВС: МЕТОД DES

Создание реакторов на быстрых нейтронах со свинцовым жидкометаллическим теплоносителем сегодня является актуальной задачей для мировой атомной энергетики. Быстрые реакторы необходимы в том числе для замыкания ядерного топливного цикла, которое призвано решить проблему утилизации отработавшего ядерного топлива и повысить эффективность использования природного урана [1].

В настоящее время расчеты реакторного оборудования невозможны без применения CFD-моделирования, которое в основном базируется на RANS приближении. Это обусловлено тем, что вихреразрешающие методики LES и DNS требуют больших временных затрат и вычислительных ресурсов. RANS метод хорошо согласуется с эмпирическими формулами по интегральным характеристикам, но не обеспечивает необходимую локальную точность параметров, требуемых для определения коэффициентов обмена в одномерных кодах и для обоснования безопасности реакторных установок. Метод DES является более быстрым и ресурсоемким по сравнению с методом LES и более точным по сравнению с методом RANS, особенно в области отрывных вихревых течений [2].

В работе представлены результаты численного анализа течения свинцового жидкометаллического теплоносителя в области расположения дистанционирующей решетки сотового типа регулярной ячейки тепловыделяющей сборки с применением метода DES в CFD-коде Star-CCM+. Расчетная область состоит из 116 миллионов ячеек; число Рейнольдса составляет порядка 116 тысяч, на внутренней поверхности оболочек твэлов задается тепловой поток 2 кВт/м^2 . Приведено сравнение полученных интегральных и локальных характеристик по теплоотдаче и гидродинамике, кинетической энергии турбулентности и ее диссипации с LES и RANS приближениями.

Литература

1. **Габараев Б.А., Свиридов В.Г., Смирнов Ю.Б., Черепнин Ю.С.** Атомная энергетика XXI века: учеб. пособие М.: Издательство МЭИ, 2021.
2. **Menter F.R.** Best Practice: Scale-Resolving Simulations in ANSYS CFD // ANSYS Germany GmbH, 2012. P. 70.

С.Н. Андреев, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ОРОШЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ ТРУБКИ НА ПРОЦЕСС КОНДЕНСАЦИИ НАСЫЩЕННОГО ПАРА

Одним из основных факторов, влияющих на теплообмен при конденсации пара в трубных пучках, является орошение труб конденсатом, образовавшимся на вышерасположенных трубах. В отличие от эксперимента, численное моделирование позволяет получить данные о локальных характеристиках теплообмена.

В настоящей работе исследуется теплообмен при конденсации пара пентана на гладком охлаждаемом горизонтальном цилиндре при несимметричном орошении с различными значениями расхода конденсата и температуры поверхности цилиндра. Основой математической модели двухфазного потока является метод VOF (Volume Of Fluid), дополненный модифицированной в [1] моделью Lee для моделирования массообмена. Характерный режим натекания конденсата и распределение локальной теплоотдачи представлены на рис. 1–2. Расчеты выполнены с использованием CFD-кода ANES [2]. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-29-01457).



Рис. 1. Момент падения на цилиндр и отрыва капли конденсата при орошении с расходом $5G_{Nu}$

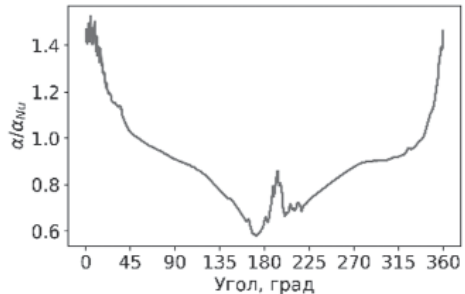


Рис. 2. Распределение среднего по времени коэффициента теплоотдачи по периметру цилиндра при орошении с расходом $5G_{Nu}$

Литература

1. Минко К.Б., Артемов В.И., Клементьев А.А. Моделирование методом VOF процессов конденсации неподвижного и движущегося насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы // Теплоэнергетика. 2023 г. № 3. С. 20–39.
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 26.10.2021).

Б.С. Серов, студ.; рук. Д.О. Дуников, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИОВОДОРОДА

Источником водорода с низким углеродным следом может стать биомасса, при этом существуют методы биологического производства водорода в качестве продукта жизнедеятельности некоторых микроорганизмов [1]. Типичный продукт биологической переработки органического сырья представляет собой влажную смесь газов с низким парциальным давлением водорода (<1 бар). Недавние исследования показывают, что водородный метаболизм гораздо более распространен в природе, чем это раньше предполагалось, и в том числе свойственен некоторым глубоководным микроорганизмам, адаптированным к окружающей среде с высоким давлением. Обеспечение высоких гидростатических давлений внутри биореакторов требует гораздо меньших затрат энергии, чем сжатие продуктовых газов, таким образом использование пьезотолерантных или пьезофильных микроорганизмов позволит разработать новые методы более эффективного получения биоводорода.

В работе создается экспериментальная установка, по производству биоводорода при повышенном давлении (до 10 атмосфер). Разработан реактор АН017 для работы в условиях высокого давления, внутри реактора измеряются температура и давление. Для нагрева и поддержания постоянной температуры используется термостат Julabo FP-45. Удаление примесей воздуха или других газов производится по линии сброса с помощью вакуумного насоса PFEIFFER VACUUM. В реактор помещают исследуемые микроорганизмы и питательную среду, после чего заполняют аргоном с необходимым давлением. Выделяемый микроорганизмами газ собирается в пробоотборник. При масштабировании системы разделение смеси и получение чистого водорода предлагается осуществить с помощью металлогидридов.

Литература

1. Дуников Д.О., Борзенко В.И., Малышенко С.П., Блинов Д.В., Казаков А.Н. Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор) // ТВТ. 2013. № 3.

А.А. Клементьев, асп.;
рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ДВИЖУЩЕГОСЯ И НЕПОДВИЖНОГО ПАРА НА ОДИНОЧНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CFD-КОДОВ OPENFOAM И STAR-CCM+

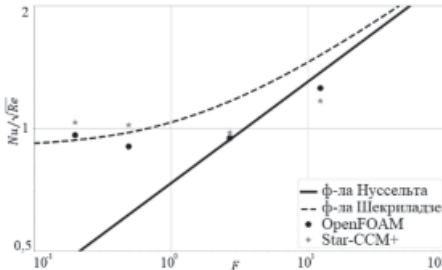


Рис. 1. Сравнение интенсивности теплоотдачи, полученной на различных кодах, с теоретическими зависимостями

В данной работе представлено сравнение полученных с использованием различных программных средств результатов численного моделирования конденсации пара пентана, движущегося с разными скоростями, на горизонтальной трубе в двумерной постановке. Процесс конденсации моделировался с использованием метода VOF, к которому была добавлена ранее верифицированная в исследовательском CFD-коде ANES [1] модель расчета процессов тепло- и массообмена на межфазной границе [2], реализованная в открытом CFD-коде OpenFOAM и коммерческом коде Star-CCM+.

Проведено сравнение результатов расчетов между собой и с известными аналитическими решениями (рис. 1). По результатам расчетов сделан вывод о предпочтительности использования кода OpenFOAM, при выборе которого корректные результаты были получены за меньшее расчетное время на более грубой сетке. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (грант № 22-29-01457).

Литература

1. Код ANES [электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения 20.10.2022).
2. Минко К.Б., Артемов В.И., Клементьев А.А. Моделирование методом VOF процессов конденсации неподвижного и движущегося насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы // Теплоэнергетика. 2023 г. № 3., С. 20–39.

Д.С. Семенюк, студ.; рук. Я.И. Листратов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС КОНВЕКЦИИ В ЯЧЕЙКЕ

В работе рассмотрена естественная конвекция в ячейке, нагреваемой слева и охлаждаемой справа, при наличии магнитного поля и в условиях стационарного ламинарного течения. При решении задачи использовались квазистатическое МГД-приближение, уравнения Навье-Стокса, уравнение энергии. Для моделирования задачи используется метод контрольного объема, реализованный в программе ANES. Результаты представлены в виде изображений линий тока, изотерм, векторных полей скоростей. Получено решение для широкого диапазона чисел Рэлея (Ra) и Гартмана (Ha) при различных углах действия магнитного поля. При относительно сильном магнитном поле конвекция замедляется, и теплопередача между стенками обусловлена теплопроводностью. При слабом магнитном поле наблюдается интенсивная конвекция. Это также подтверждается уменьшением среднего числа Нуссельта с увеличением числа Гартмана.

Таблица 1. Влияние магнитного поля на интенсивность конвекции




$Ha=25$	$Ha=100$	$Ha=200$
		

Таблица 2. Зависимость числа Нуссельта от числа Гартмана

Ha	Nu
25	4,9461
100	2,4325
200	1,3006

Варьированием числа Рэлея была найдена граница перехода к нестационарному режиму течения. Ламинарный режим течения при больших числах Рэлея может быть продлен путем значительного усиления магнитного поля.

Литература

1. **Патанкар С.В.** Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах М.: Издательство МЭИ, 2003.
2. **Генин Л.Г., Свиридов В.Г.** Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах М.: Издательство МЭИ, 2001.
3. **Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л.** Теплообмен в ядерных энергетических установках М.: Издательство МЭИ, 2003.

*И.И. Шафиков, студ.;
рук. Я.И. Листратов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МГД-ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПОДЪЕМНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРУГЛОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В работе методом прямого численного моделирования (DNS) исследуется МГД-теплообмен [1] при турбулентном подъемном течении жидкого металла (ЖМ) в круглой вертикальной трубе в поперечном магнитном поле с учетом влияния свободной конвекции со следующими ГУ на входе: с предвключенным длинным участком на входе, который реализуется с периодическими граничными условиями, и задание на входе хонейкомба.

В настоящее время применение ЖМ имеет хорошие перспективы: строящийся термоядерный реактор с магнитным удержанием плазмы — типа «токамак», ядерные реакторы с жидким металлическим теплоносителем.

Моделирование проводилось со следующими характерными числами подобия: число Прандтля $Pr = 2.5 \cdot 10^{-2}$, диапазон чисел Рейнольдса $Re = 5.3 \cdot 10^3 - 15 \cdot 10^3$, чисел Гартмана $Ha = 0 - 300$ и чисел Грасгофа $Gr = 0 - 10^8$.

Были получены мгновенные и осредненные поля температуры, поля скорости; распределения числа Нуссельта по длине обогреваемой стенки, а также значения статистических характеристик турбулентности. Полученные результаты были сопоставлены с работами, ранее сделанными в данных областях [1, 2, 3]. Анализ результатов показал: магнитное поле подавляет турбулентность и влияние магнитного поля на теплообмен заметен для чисел Ричардсона $Ri=1$ и выше.

Литература

1. **Л.Г. Генин, В.Г. Свиридов.** Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах.
2. **В.В. Ягов.** Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях.
3. **Б.С. Петухов, А.Ф. Поляков.** Теплообмен при смешанной турбулентной конвекции.

Ю.А. Жукова, студ.;
рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ

В данной работе рассматривается математическое описание струи проводящей жидкости во внешнем поле. Подобная постановка является обобщением более частной проблемы, рассматриваемой, например, в [1, 2].

В описываемом случае уравнения Навье–Стокса изменяются незначительно; в правой части добавляются не старше чем линейные по скорости члены:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \nabla \vec{v} = -\nabla \Pi + \rho_e \vec{E} + \vec{j} \times \vec{B}, \quad (1)$$

Например, для простейшего плоского случая в приближении пограничного слоя уравнение (1) сводится к

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + kv, \quad (2)$$

где x, u — координата и скорость вдоль направления течения струи, y, v — координата и скорость поперек струи.

Уравнение (2) допускает автомодельное решение для функции тока в виде [2]

$$\Psi = x^a f(z), \quad z = y/x^b, \quad u = \partial \Psi / \partial y, \quad v = -\partial \Psi / \partial x. \quad (3)$$

Тогда получаем уравнение относительно f

$$(a-b)f'^2 - af f'' = x^{1-a-b} \nu f''' - x^{2b-a} k(af + bz f'), \quad (4)$$

откуда следует, что $a = 2/3, b = 1/3$, и окончательно — обыкновенное дифференциальное уравнение относительно f :

$$f'^2 - 2ff'' = 3\nu f''' - k(2f + z f'). \quad (5)$$

Решая (5), можно найти автомодельную функцию тока, построить профили скорости и пр.

Подобным же образом можно получить решение для круглой струи.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VI: Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.
2. Биркгоф Б., Сарантонелло Э. Следы, струи и каверны. М.: Мир, 1964. 467 с.

*Р.Ф. Рахимов, студ.; Е.А. Бурдюкова, асп.;
рук. Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., ст.преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАТОРОВ РАСПЛАВА СОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ, АКТУАЛЬНЫХ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Продолжительная работа термоядерных установок требует необходимость в охлаждении активной зоны. Теплоносители, используемые на ядерных установках, как вода или газы имеют низкие значения температуры кипения и низкие показатели теплоемкости. В качестве одной из перспективных теплоносителей предлагается использовать расплавы солей (фториды металлов). Технология исследовалась в 20 веке на ядерных жидкосольевых реакторах в начале развития атомной промышленности, однако проекты позже были заморожены. С появлением концепции IV поколения продолжилось дальнейшее изучение и разработка реакторов на гомогенном топливе.

В работе рассматривается поведение потока жидкости в трубе на основе имитатора расплава солей — водного раствора гидроксида калия (KOH). Основные рассматриваемые режимы в проведенных экспериментах — переходный ($Re=5000$) и турбулентный ($Re=14000$) с различными значениями тепловых потоков ($q=10-70$ кВт/м²) без и с воздействием поперечного магнитного поля ($Ha=14$) на исследуемом рабочем участке.

Контроль параметров инвазивных датчиков был произведен с помощью системы программирования *LabVIEW*, как и дальнейшая обработка полученных выборок температурных пульсаций. Созданный код выдает графическое представление распределения осредненных значений температуры, асимметрии и эксцесса от радиуса трубы, что в соответствии с [1] позволило проанализировать поведение жидкости в рабочем участке.

В случае потока электропроводящих стенок трубы и среды под воздействием магнитного поля значительно увеличивается гидравлическое сопротивление [2]. В работе рассматриваются разные варианты покрытий для создания изоляционного слоя между стенкой рабочего участка и имитатора и проводятся исследования на стойкость покрытий в потоке водного раствора гидроксида калия.

Литература

1. Введение в статистическую теорию турбулентности: учебное пособие для вузов по направлению «Техническая физика» / Л.Г. Генин, В.Г. Свиридов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. — 154 с. — ISBN 978-5-383-00150-9.
2. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах: учебное пособие / Л.Г. Генин, В.Г. Свиридов. — Москва: Издательство МЭИ, 2001. — 200 с. — ISBN 5-7046-0650-4.

Л.С. Новикова, студ.;
рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ ВЕЙЕРШТРАССА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Как известно, при турбулентном течении жидкости ее параметры претерпевают нерегулярные изменения. Один из возможных способов описания турбулентности заключается в разложении искомых функций (скорости, давления и пр.) в ряд Фурье с последующим анализом получающихся спектральных характеристик.

Такой способ хоть и не лишен отдельных преимуществ, однако представляется не вполне адекватным поставленной задаче. Целесообразно рассмотреть альтернативный вариант, а именно представление интересующих нас величин с помощью функции Вейерштрасса

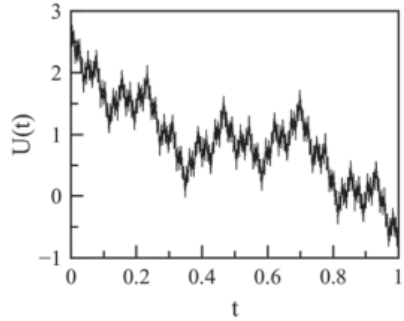


Рис. 1. Функция Вейерштрасса

с помощью функции Вейерштрасса

$$U(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{a^k} \cos(b^k t) \quad (1)$$

Функция (1) показана на рис. 1 для параметров $a = 1,5$, $b = 3$. Данная функция не имеет производной ни в одной точке, поэтому использование ее в общепринятых уравнениях, содержащих обыкновенные производные, невозможно. Для физико-математического описания необходим иной подход.

В настоящей работе обсуждаются бифуркации поля скоростей, приводящие к зависимости вида (1), а также способ формулировки уравнения, описывающего эволюцию недифференцируемой функции. Рассматривается связь с существующими представлениями о структуре турбулентности [1].

Литература

1. Прандтль Л., Рейнольдс О., Карман Т., Бюргерс И., Онзагер Л., Чорин А. Дж. Проблемы турбулентности (сборник статей). Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. 404 с.

*П.В. Ушаков, А.А. Опросичев, И.В. Парамонов, Е.А. Семенова,
Г.И. Хорошилов, студенты; И.М. Молотов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОРОДНОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Согласно документам стратегического планирования энергетики России, водород рассматривается как перспективный экологически чистый энергоноситель, который может производиться с помощью различных источников энергии, использоваться для хранения, доставки и выработки энергии, а также в качестве топлива для транспорта. Применение водородных накопителей для сезонного аккумулирования энергии позволяет повысить надежность энергоснабжения при распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии.

В настоящем докладе в рамках работ по имитационному моделированию электроснабжения на основе солнечно-ветровой генерации с гибридным накопителем энергии [1] представлена модель водородного аккумулирующего цикла с хранением водорода в сжатом газообразном состоянии. В состав водородного аккумулирующего цикла входят: электролизер, ресивер, водородный компрессор, водородный компрессор, стандартные газовые баллоны, водородный топливный элемент.

Модель реализована в отечественной среде динамического моделирования технических систем Simintech. Модель водородного цикла выполнена как с использованием библиотеки функциональных блоков «Теплогидравлика (HS)», так и с «Гидро- и пневмосистемы (ГПС)». В схемах с указанными библиотеками решаются одномерные уравнения в сосредоточенных параметрах (усредняются параметры газа по сечению каналов и в объемах резервуаров), а также уравнения теплопроводности для стенок каналов и резервуаров.

Входными и выходными параметрами подсистем являются паспортные технические характеристики на оборудование. Моделирование осуществляется на номинальных режимах работы электролизера, водородного компрессора и водородного топливного элемента.

В результатах приведена эффективность использования энергии, кросс-верификация используемых библиотек, а также сопоставление скорости моделирования.

Литература

1. Молотов И.М., Счастливец А.И., Дуников Д.О., Масленникова М.Р., Мезин С.В., Проталинский О.М. Управление в целях обеспечения балансовой надежности электроснабжения на основе солнечной генерации с водородным аккумулированием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.

М.В. Тывровский, студ.;
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БЫСТРЫЙ РЕАКТОР С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ С ПЛАВАЮЩИМИ ТВЭЛ

Эксплуатация реакторов на быстрых нейтронах показала возможность дальнейшего развития в конструировании более совершенных реакторов данного типа. Инновационной идеей стало создание быстрого реактора естественной безопасности БРЕСТ-ОД-300, в качестве теплоносителя которого был выбран жидкий свинец.

Одной из главных проблем при использовании данного жидкометаллического теплоносителя является всплытие уранового топлива из него. Плотность диоксида урана составляет $10,97 \text{ г/см}^3$, в то время как у свинца она равна $11,35 \text{ г/см}^3$. Разность плотностей приводит к тому, что топливо начинает всплывать, что может привести к нарушению работы реактора. Для решения этой проблемы было разработано смешанное нитридное уран-плутониевое ядерное топливо, плотность которого составляет примерно 13 г/см^3 .

В данной связи возникает возможность добиться такого соотношения стали, топлива и размеров тепловыделяющего элемента, что будет обеспечивать состояние ТВЭЛа с нулевой плавучестью. Такой элемент будет иметь форму шара, стальную оболочку и внутри будет содержать определенное количество ядерного топлива в виде отдельных гранул и расплавленного свинца. Для расчета используются основные данные активной зоны реактора БРЕСТ-ОД-300 [1]. Параметры «плавающих» ТВЭЛ выбираются таким образом, чтобы был сохранен нейтронный баланс реактора и его теплофизические свойства. Активная зона реактора будет представлять из себя многослойную структуру из шаровых ТВЭЛов, плавающих в свинце. Добавление новых элементов будет осуществляться снизу активной зоны, тем самым способствуя выталкиванию на поверхности уже отработавших ТВЭЛов и их циркуляции в активной зоне.

Развитие данной концепции может поспособствовать решению проблем при создании реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем, связанными не только со всплытием ядерного топлива, но и с засорением теплообменных каналов, возникающим из-за сильной коррозии расплавленного свинца [2].

Литература

1. **Глазов А.Г., Леонов В.Н., Орлов В.В.** Реактор БРЕСТ и пристанционный ядерный топливный цикл // Атомная энергия, 2007. Т. 103, вып. 1.
2. **Нигмагулин Б.И., Пивоваров В.А.** Реактор с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. История трагедии и фарса. — М.: «Литтерра», 2023.

Д.В. Горбачев, студ.;
рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ВОЗДУХ-СВИНЕЦ

Представлены результаты численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена в конструкции, состоящей из двух вертикально расположенных коаксиальных труб («труба в трубе») с воздушным теплоносителем и внешней кольцевой трубы со свинцовым теплоносителем. Воздух движется в центральной трубе вниз, изменяет направление движения в коллекторе и поднимается вверх в кольцевой трубе. Течение свинца во внешней кольцевой трубе — опускное. Рассматриваемый теплообменник представляет собой модель одного из элементов пассивной системы охлаждения жидкого свинца.

Для моделирования использовались осредненные по Рейнольдсу двумерные уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Численные решения получены на неравномерной структурированной сетке с помощью CFD-кода ANES [1]. Турбулентная вязкость рассчитывалась с использованием 2-х моделей: $k-\omega$ модели Уилкокса и SST модели Ментера. В $k-\omega$ и SST моделях были включены низко-рейнольдсовы демпфирующие функции и универсальные пристеночные функции Ментера-Кадера. Для воздуха турбулентное число Прандтля было принято равным $Pr_T=0.9$. Для свинца расчеты выполнены при $Pr_{T,c}=0.9; 3.0$ по SST модели и при $Pr_{T,c}=0.9$ — по $k-\omega$ модели. Для сравнения с полученными данными проведено также моделирование с турбулентным числом Прандтля, рассчитанным по формуле Кейса [2].

Литература

1. **Код ANES [Электрон. ресурс.]** [http:// anes.ch12655.tnweb.ru/](http://anes.ch12655.tnweb.ru/)
2. **Kays, W.M.** “Turbulent Prandtl number: where are we, Journal of Heat Transfer-
transactions of The Asme 116 (1994): 284–295.

*Д.М. Свашенко, И.С. Ястребов, А.С. Смирнова,
О.В. Страшникова, студенты; А.С. Киселев, асп.;
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТИННОГО ОБЪЕМНОГО ПАРСОДЕРЖАНИЯ ПРИ КИПЕНИИ В МИКРОКАНАЛЕ С ПОРИСТЫМ ПОКРЫТИЕМ

Шустов М.В. [1], исследуя кипение воды в микроканале с размерами $13.7 \times 3 \times 0.2$ мм с покрытием из наночастиц Al_2O_3 и без, получил данные по пульсациям истинного объемного паросодержания при атмосферном давлении в диапазоне массовых скоростей $150\text{--}410$ кг/с·м². На рис. 1 показаны полученные данные 1) — с покрытием при $\rho W = 170$ кг/с·м²; 2) — без покрытия при $\rho W = 150$ кг/с·м².

В работе построены спектры пульсаций истинного объемного паросодержания (среднего по длине) при кипении воды в микроканале с помощью функций программного обеспечения MATLAB. На рис. 2 представлены спектры для микроканала с покрытием (при $q = 1$ Мвт/м², $\Delta T_{\text{нед}} = 80^\circ\text{C}$, массовой скорости $\rho W = 150$ кг/с·м²) и без покрытия при $\rho W = 170$ кг/с·м².

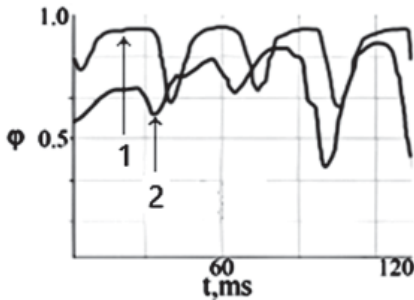


Рис. 1. Пульсации паросодержания

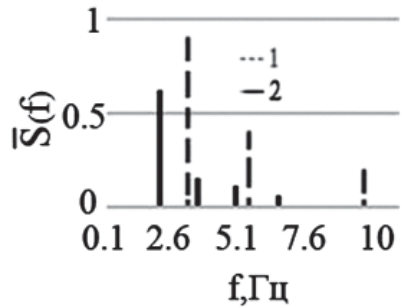


Рис. 2. Спектры пульсаций φ

Установлено, что при кипении в микроканале с покрытием из наночастиц Al_2O_3 энергия и амплитуда пульсаций истинного объемного паросодержания возрастают.

Литература

1. М.В. Шустов «Исследование кипения в микроканале с покрытием из наночастиц», Автореферат кандидатской диссертации, 2016.

А.А. Сатаев, к.т.н.; О.Ю. Журавлева, асп.;
А.В. Можаровский, к.т.н. (ООО «Радио Гигабит»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОННОГО ОРЕБРЕНИЯ РАДИАТОРА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Отвод тепла от радиоэлектронных устройств различного назначения является важнейшей задачей при их проектировании. В настоящее время наиболее востребованным способом отвода тепла являются пассивные способы охлаждения за счет свободной конвекции, основанные на применении различных типов радиаторов, отличающихся геометрией, площадью поверхности, ее структурой. Причем ребристые радиаторы получили наибольшее распространение в виду простоты изготовления. С целью их оптимизации простое изменение площади поверхности теплообмена не всегда может давать столь значительный эффект в улучшении теплоотдачи, в этом случае необходимо рассмотрение вопросов обтекаемости потоком радиаторных профилей и поверхностей [1]. Для решения данных задач на этапе проектирования могут быть применены методы вычислительного моделирования и радиаторы сложной геометрии (наклонные, W-образные, с проточками и т.д.). Результаты поиска оптимального угла наклона ребер представлены на графике на рисунке 1. Тестовый радиатор представляет из себя твердотельную модель с граничным условием равномерного тепловыделения по объему.

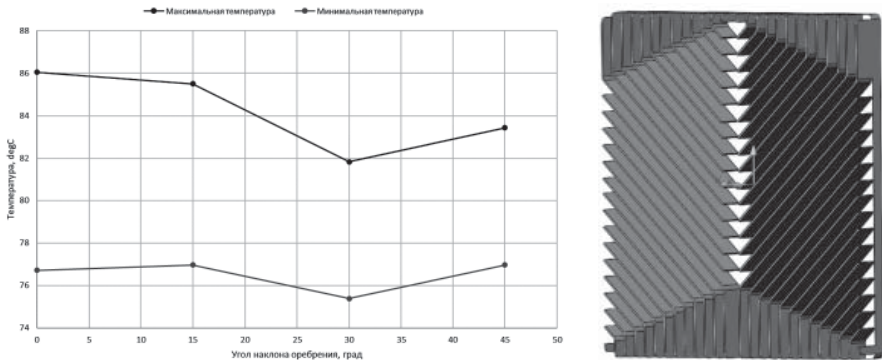


Рис. 1. График зависимости максимальной и минимальной температуры от угла наклона ребрения (слева), и вид тестового радиатора (справа)

По результатам численного моделирования был найден оптимальный диапазон угла наклона ребер, что позволит снизить температуры критичных компонентов и улучшить условия их работы.

Литература

1. Gaikwad A, Sathe A and Sanap S A design approach for thermal enhancement in heat sinks using different types of fins: A review. Front. Therm. Eng. 2:980985. doi: 10.3389/fther.2022.980985, 2023.

М.М. Виноградов, асп.; рук. д.т.н. В.В. Ягов (НИУ «МЭИ»)

УСТОЙЧИВОЕ ПЛЕНОЧНОЕ КИПЕНИЕ В НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

В научной группе профессора В.В. Ягова ведутся экспериментальные работы по изучению нестационарных процессов охлаждения высокотемпературных тел в жидкостях. Исследования сопровождаются разработкой физической модели устойчивого пленочного кипения недогретой жидкости.

Предложенные ранее модели подобного типа имеют погрешность при определении теплового потока более 35% [1–3]. В 2017 году была предложена полуэмпирическая модель для расчета коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков в режиме пленочного кипения недогретой жидкости [4]. При сопоставлении результатов расчета по модели [4] с экспериментальными данными обнаружено, что расчет плохо согласуется с экспериментом при давлениях, отличных от атмосферного.

В настоящей работе предложена новая версия полуэмпирической модели для определения возникающего теплового потока в режиме устойчивого пленочного кипения. Модель основана на предположении Бромли для насыщенной жидкости. Учет недогрева жидкости выполняется путем рассмотрения жидкой фазы в системе в приближении пограничного слоя жидкости.

Новая разработанная модель показывает хорошее согласие с экспериментальными результатами при различных давлениях, недогревах и свойствах охлаждающей жидкости. В целом, новая модель является более физически обоснованной по сравнению с предыдущей версией [4].

Литература

1. **Bromley L.A.** Heat transfer in stable film boiling. — US Atomic Energy Commission, Technical Information Division, 1949. — Т. 2295.
2. **Specht E., Jeschar R., Heidt V.** An analytical model for free convection film boiling on immersed solids // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. — 1992. — Т. 31. — №. 2. — С. 137–146.
3. **Frederking T.H.K., Hopfenfeld J.** Laminar two-phase boundary layers in natural convection film boiling of subcooled liquids // Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik ZAMP. — 1964. — Т. 15. — №. 4. — С. 388–399.
4. **Yagov V. V. et al.** Heat transfer in film boiling of subcooled liquids: new experimental results and computational equations // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2017. — Т. 90. — С. 266–275.

Л.Г. Полянский, студ.;
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ И ПУЛЬСАЦИЙ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ С ГИДРОФОБНЫМ ПОКРЫТИЕМ

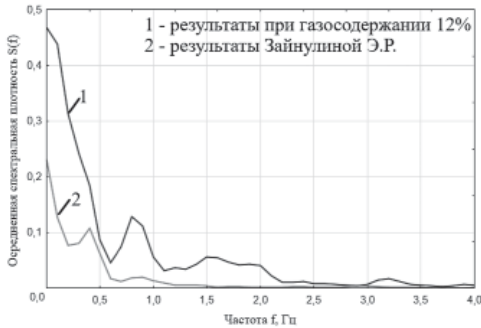


Рис. 1. Спектр пульсаций локального теплового потока при конденсации на трубе с покрытием (1) и без покрытия (2)

Данные по пульсациям локальной плотности теплового потока обработаны и получены спектры.

На рис.1 представлены спектры при установке датчика на азимутальном угле 45° , давлении 52 КПа, разности температур 60°C и концентрация неконденсирующихся газов примерно 12%.

Для сравнения нанесен спектр, полученный при обработке данных по конденсации для трубы без покрытия [1].

При конденсации на трубе с гидрофобным покрытием за счет увеличения теплоотдачи в спектре наблюдаются пульсации с большей энергией. Рост теплоотдачи происходит вследствие увеличения краевого угла для трубы с покрытием.

Литература

1. Э.Р. Зайнуллина, Градиентная теплометрия в исследовании теплообмена при конденсации пара на наружной поверхности трубы, кандидатская диссертация, 2021 г.
2. Ю.А. Кузма-Кичта, А.В. Лавриков, Н.С. Иванов, Д.В. Горбачев, Исследование пульсаций местной плотности теплового потока при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием, ТПТ. 12. 2023 г.

*С.В. Чалпанов, студ.; С.М. Глухов, асп.; Д.Е. Шумков, соиск.;
рук. О.Л. Ташлыков, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА ОТ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ

Система пассивного отвода остаточных тепловыделений (СПОТ) разработана с учетом конструктивных особенностей шахты-хранилища (бассейна выдержки) отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) исследовательского ядерного реактора (ИЯР) ИВВ-2М.

В период с 2015 по 2023 гг. проведен комплекс исследовательских работ по моделированию теплогидравлических процессов в шахте-хранилище с использованием программного комплекса SolidWorks при различных тепловых нагрузках (различное количество ОТВС в шахте-хранилище), оценка рассеивания теплоты через строительные конструкции [1], экспериментальному исследованию температурных полей по объему шахты-хранилища, оценке остаточных тепловыделений [2].

Для верификации результатов моделирования был разработан экспериментальный стенд для исследования режимов работы СПОТ шахты-хранилища ОТВС ИЯУ ИВВ-2М.

Испытания проводятся в двух режимах:

- жидкостно-жидкостный (соответствует нормальному режиму эксплуатации шахты-хранилища);
- жидкостно-двухфазный (соответствующие отводу теплоты при нарушении условий нормальной эксплуатации).

Нагрев воды в баке установки осуществляется с помощью электрического нагревателя, мощность которого ступенчато изменяется с 0 до 6 кВт. Для определения отводимой тепловой мощности используется термопары типа ТХА, измеряющие температуры рабочего тела, и расходомер, установленный на конденсатном канале.

Литература

1. Куртеев А.В., Нейская С.А., Севастьянов М.М., Ташлыков О.Л. Расчетная оценка отвода остаточных тепловыделений от шахты-хранилища облученных топливных сборок в строительные конструкции // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции — Даниловских чтений. — Екатеринбург : УрФУ, 2018. — С. 841–846.
2. Shumkov D.E., Tashlykov O.L. and Glukhov S.M. Experimental investigations of temperature conditions in the storage pit of IVV-2M research nuclear reactor // AIP Conference Proceedings 2466, 070006 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0088848>

Т.А. Гатауллин, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н, доцент (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО КИПЕНИЯ НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА МЕТОДОМ VOF

В настоящий момент ведутся активные исследования процессов пленочного кипения в недогретых до состояния насыщения жидкостях. Ключевым вопросом является поиск физических механизмов, приводящих к разрушению паровой пленки и переходу к более интенсивным режимам отвода тепла. Для данной цели важным является получение детальной информации о локальных характеристиках паровой пленки и контактирующей с ней поверхности. Указанная информация может быть получена с использованием метода VOF, дополненного моделями для описания тепло- и массопереноса на межфазной границе.

В настоящей работе рассматривается пленочное кипение фреона-113 на горизонтальном цилиндре диаметром 50.8 мм при 0.1 МПа, при температуре стенки равной 440.735 К и недогреве жидкости равном 30 К (рис. 1). Данный режим соответствует режиму, экспериментально исследованному в работе [1].

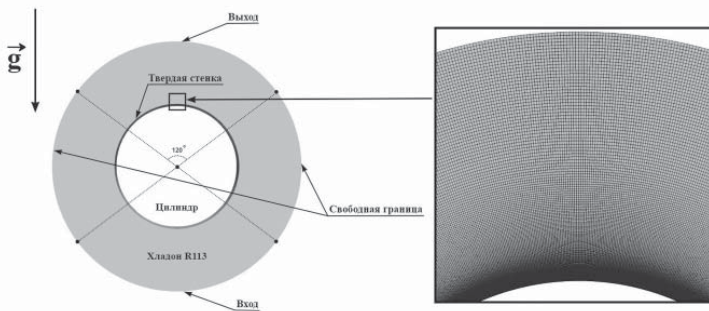


Рис. 1. Постановка задачи и расчетная сетка

Расчеты выполнены с использованием модели Lee [2]. Параметр модели (“коэффициент релаксации”) подбирался автоматически на основе информации о параметрах сетки и свойствах теплоносителя на основе подхода, ранее использованного для моделирования пленочной конденсации [2]. Расчеты выполнены в исследовательском CFD-коде ANES [3].

Литература

1. Nishio S., Ohtake H. Vapor-film-unit model and heat transfer correlation for natural-convection film boiling with wave motion under subcooled conditions // Int. J. Heat Mass Transf. 1993. Vol. 36, N10 P. 2541–2552.
2. Минко К.Б., Артемов В.И., Клементьев А.А. Моделирование методом VOF процессов конденсации неподвижного и движущегося насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы // Теплоэнергетика. 2023. № 3. С. 20–39.
3. Код ANES [Электрон. ресурс.] <http://anes.ch12655.tmweb.ru>.

М.А. Шавелкин, студ.;
рук-ли В.М. Зайченко, д.т.н., г.н.с. (ОИВТ РАН, Москва);
С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ГРАНУЛИРОВАННОЙ БИОМАССЫ

В работе исследовалось взаимодействие индукционной плазмы с поверхностью гранулированной древесины для улучшения ее теплотворной способности. Плазменные условия создавались высокочастотным индукционным плазмотроном (рабочая частота $27,12 \pm 0,27$ МГц) при атмосферном давлении. С учетом литературных данных, согласно которым торрефикация топливных гранул в зависимости от вида биомассы проводится в интервале 200–300°C, а карбонизация — 500–800°C [1], была проведена оптимизация расположения гранул по отношению к создаваемому факелу. Исследованы спектральные характеристики индукционной плазмы в интервале 240 нм — 1 мкм с помощью четырехканального опволоконного спектрометра AvaSpec. Показано, что при обработке образцов в спектре излучения присутствуют линии аргона и полосы, соответствующие летучим компонентам древесины. Комбинированное излучение создает особые условия для структурного изменения древесной гранулы, представляющей собой биополимерную композицию, главным образом, из лигнина, гемицеллюлоз и целлюлозы [2], позволяющие достигать значительной деструкции при температурах в диапазоне 110–220°C. После плазменной обработки изменилась морфология поверхности гранул (вместо вытянутых волокон наблюдалось образование слоистой структуры, типичной для каменного угля), элементный состав и теплотворная способность.

Литература

1. **Bergman P.C.A., Boersma A.R., Zwart R.W.R., Kiel J.H.A.** Torrefaction for Biomass Co-Firing in Existing Coal-Fired Power Stations // Report No. ECN-C-05-013, Energy Centre of Netherlands, 2005.
2. **Acda M.N., Devera E.E.** Physico-chemical properties of wood pellets from forest residues// Tropical Science 2014. Т. 26. № 4. Р. 589–595.

А.А. Суворова, студ.;
рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ДИНАМИКА ПАРОГАЗОВОЙ ПОЛОСТИ ПРИ КАВИТАЦИИ

Уравнение Рэлея, описывающее динамику полости в жидкости при отсутствии диссипативных эффектов, позволяет получить аналитические решения для различных условий, т.е. для разной зависимости перепада давлений Δp от радиуса пузыря. В общем случае скорость сферического пузыря U зависит от его радиуса R как

$$U^2 = \frac{2}{\rho R^3} \int_{R_0}^R R^2 \Delta p(R) dR \quad (1)$$

В частности, из (1) можно получить искомые зависимости для газовых пузырей в адиабатических и изотермических условиях; соответствующие фазовые портреты показаны на рис. 1.

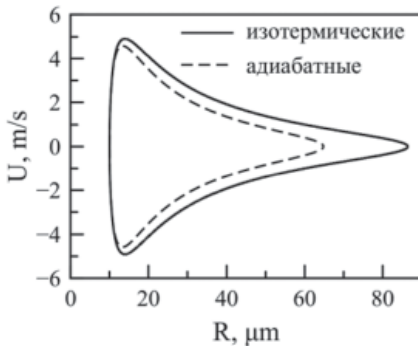


Рис. 1. Фазовый портрет (1)



Рис. 2. Кавитационные пузыри

Целью данной работы является сопоставление экспериментальных зависимостей $U(R)$, полученных для кавитационных пузырей, с результатами расчета по формуле (1) для тех или иных теоретических моделей. Подобный анализ позволяет не только установить корректность используемых теоретических приближений, но и определить конкретные условия, в которых развивается пузырь.

В работе исследуются достаточно крупные пузырьки (см. рис. 2), размер которых не менее нескольких миллиметров. В таком случае возможен анализ экспериментальных данных на основании обычной скоростной видеосъемки.

П.И. Поляков, студ.; рук. И.О. Тепляков, к.т.н. (ОИВТ РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ПОЛУСФЕРИЧЕСКОМ КОНТЕЙНЕРЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Электровихревые течения жидкого металла возникают при взаимодействии электрического тока, пропускаемого в проводящей жидкости, с собственным магнитным полем. Исследования электровихревых течений направлены на высокоточные технологические процессы, среди которых дуговая сварка, дуговой и электрошлаковый переплав металлов [1].

В работах [2] и [3] отмечено, что применение электрошлаковой переплавки металла с током пониженной частоты (от 0,1 до 10 Гц) позволило уменьшить скорость переплава без изменения мощности, а полученные металлы обладают мелкодисперсной и более однородной структурой кристаллической решётки по сравнению с образцами, полученными при электрошлаковой переплавке с подводом тока промышленной частоты (50 Гц). В известных работах [4–7] по изучению электровихревых течений в полусферическом контейнере и геометрий, приближённых к используемым в промышленной печи, рассмотрено взаимодействие постоянного тока с собственным магнитным полем.

Из вышесказанного следует, что существует актуальность изучение структуры электровихревого течения при подводе переменного тока различных частот. В работе представлены расчёт и реализация источника питания пониженной частоты, а также сравнение результатов численного и натурного экспериментов. Представлены данные в виде полей скорости течения в зависимости от характеристик подводимого тока (сила тока, частота).

Литература

1. **Бояревич В.В. [и др.]** Электровихревые течения. Рига: Зинатне, 1985.
2. **Нехамин С.М.** Создание и внедрение энергоэффективных дуговых и электропечных комплексов использованием постоянного тока пониженной частоты. Диссертация. М., 2015.
3. **Дуб А.В., Дуб В.С., Кригер Ю.Н.** Электрошлаковый переплав — способ кардинального повышения качества и свойств ответственных изделий в современном машиностроении. Технические требования и новые решения // Тяжелое машиностроение. 2012. № 6.
4. **Тепляков И.О.** Исследование структуры электровихревого течения жидкого металла в полусферической полости. Диссертация. М., 2013.
5. **Михайлов Е.А., Тепляков И.О.** Аналитическое решение задачи об электровихревом течении в полусфере с электродами конечного размера в стоковом приближении // Вестник Московского Университета. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2018. № 2.
6. **Ячиков И.М., Портнова И.В.** Характер электровихревого течения металла в ванне печи постоянного тока // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6.
7. **Кухарев А.Л.** Численное исследование процессов теплопереноса в расплаве многоэлектродной дуговой печи при учёте электровихревых течений // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГУУ». 2019. № 13 (56).

Д.А. Смирнов, студ.;
рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

СРАВНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДИК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Целью научной работы является сравнение результатов расчёта коэффициента теплоотдачи по методикам Михеева М.А. [1], Исаченко В.П. [1], Михеевой И.М. [1], Цветкова Ф.Ф. [4], Леонтьева А.И. [3], Кириллова П.Л. [2].

Для данного научного исследования в программной среде Excel с помощью математических функций был организован автоматический расчёт коэффициента теплоотдачи.

Сравнение производилось путём определения результатов расчёта по вышеперечисленным методикам для таких текучих сред как воздух, вода и трансформаторное масло при различной разности температур стенки и теплоносителя (либо хладоносителя), а также различных определяющих размерах. Для методик Леонтьева А.И. [3] и Кириллова П.Л. [2] сравнение было проведено также под разными углами наклона горизонтальной пластины, обращенной теплоотдающей поверхностью вниз. Для ограниченного пространства была определена разность вычисленных значений коэффициента конвекции по формулам, приведенным для точного расчета в диапазонах $10^3 < Ra < 10^6$ и $10^6 < Ra < 10^{10}$ и приближённого для всей области значений аргументов $Ra > 10^3$.

Для каждой методики дополнительно был построен график зависимости коэффициента теплоотдачи от размера, наибольшим образом влияющего на процесс теплообмена, при различных разностях ключевых температур.

Литература

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2014. — 360 с.
2. **Кириллов П.Л. Богословская Г.П.** Тепломассобмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. — М.: ИздАт, 2008. — 256 с.
3. **С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов, А.И. Леонтьев, Б.М. Миронов, В.М. Никитин, Г.Б. Петражицкий, М.С. Самойлов, В.И. Хвостов, Е.В. Шишов** Теория тепломассобмена: учебник для вузов / С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под ред А.И. Леонтьева. — М.; Высш. Школа, 1979. — 495 с., ил.
4. **Цветков Ф.Ф.** Задачник по тепломассообмену : учебное пособие / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. — 2-е изд., исправ. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 196 с., ил.

И.А. Коновалов, студ.;
рук. Д.Н. Герасимов, к.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО НАГРЕВА КАПЛИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

В работе рассматривается математическое моделирование ансамбля частиц с помощью уравнений ньютоновской динамики, реализуемой с помощью алгоритма Верле и технологии параллельного программирования CUDA [1].

Локальный нагрев макроскопического тела требует обязательного рассмотрения на атомных масштабах, если градиенты средней кинетической энергии резко меняются по пространству или по времени. В случае столь сильной неравновесности макроскопическое описание с помощью равновесных величин не имеет никакого смысла.

В работе исследуется нагрев небольшого конгломерата частиц ($\sim 10^{2-3}$ штук), см. рис. 1. В зависимости от интенсивности и зоны нагрева можно наблюдать либо локальное взрывное испарение кластера, либо квазиравновесный фазовый переход. Во всех случаях представляет интерес динамика изменения функции распределения в области, контактирующей с зоной первоначального локального перегрева.

Отдельный интерес представляет определение реактивной силы, действующей на частицу при несимметричном поверхностном нагреве. Изучение деталей подобных процессов способствует пониманию таких явлений, как эффект Лейденфроста.

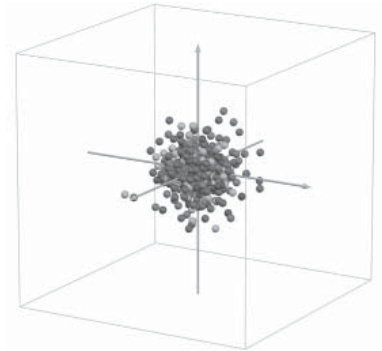


Рис. 1. Рассматриваемый кластер

Литература

1. Gerasimov D.N., Yurin E.I. Kinetics of evaporation. Springer, 2018.

А.А. Толпегин, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАКТОР БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ – КОНЦЕПЦИЯ, ОЦЕНКИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Постоянный рост энергопотребления требует все более эффективные и безопасные реакторы. Реактор бегущей волны (Traveling wave reactor, далее TWR) [1] является быстрым реактором 5 поколения. Главным отличием реактора является устройство активной зоны (далее АЗ), в которой ядерная реакция протекает лишь в ограниченной движущейся области. Для данных реакторов характерны нейтронные потоки высокой интенсивности, на два порядка выше, чем в быстрых реакторах [2]. В качестве теплоносителя в реакторе предлагается использовать жидкий свинец. В данной связи возникает проблема с коррозией и как следствие, засорение каналов АЗ и теплообменников ее продуктами. Для решения данной проблемы предложена концепция шарообразных «плавающих» ТВЭЛ, которые представляют собой металлические шары, имеющие нулевую плавучесть. Слой таких шаров, плавающих в жидком свинце, и будет составлять АЗ реактора. Это устраним проблему засорения теплообменных каналов и упростит циркуляцию ТВЭЛ в АЗ. Введение свежих шаровых ТВЭЛ снизу АЗ и выгрузка отработанного топлива сверху позволит достичь эффекта остановки волны деления внутри объема реактора.

Вместо стандартного лопаточного ГЦН в рассматриваемой концепции реактора предлагается использовать более надёжный и простой газлифтный насос.

Проведённые оценки показывают перспективность дальнейших работ в данном направлении и позволят приблизиться к созданию TWR для введения его в гражданскую энергетику.

Литература

1. **V.D. Rusov, E.P. Linnik, V.A. Tarasov** Travelingwave reactor and condition of existence of nuclear burning soliton-like wave in neutron-multiplying media // *Energies*, vol. 4, no. 9, pp. 1337–1361, 2011.
2. **V.D. Rusov, V.A. Tarasov, I.V. Sharph, V.N. Vashchenko, E.P. Linnik, T.N. Zelentsova, M.E. Beglaryan, S.A. Chernegenko, S.I. Kosenko, V.P. Smolyar** On Some Fundamental Peculiarities of the Traveling Wave Reactor // vol. 2015, Article ID 703069, 23 pages, 2015.

В.И. Волков, студент; рук. Д.А. Бирюков, к.т.н. ОИВТ РАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ ПРИ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЖИДКОМ СВИНЦЕ

Кол-во публикация по тематике экспериментального исследования и моделирования термогравитационной конвекции жидких металлов в последнее время значительно увеличивается не последнюю роль играет демонстрационный реактор на жидкометаллическом теплоносителе БРЕСТ-ОД-300, пуск которого планируется на 2029 год. Одно из исследований проводили Brito, D. et al [1] в качестве теплоносителя использовался жидкий галлий. Однако, работ со свинцом в качестве экспериментальной жидкости работ не очень много, возможно из-за сложности проведения эксперимента, ведь сканирующая методика ультразвуковой доплеровской велосимметрии не рассчитана на высокие температуры при которых эксплуатируются свинцовые стенды. Для решения возникшей трудности диагностирования полей скоростей предлагается использовать инвазивную методику сканирующего зонда, а для статистического обработки сигнала использовать корреляционный анализ [2] дополнительно предлагается определить зависимость степень окисления свинца на распределения скоростей в участке.

За основу рабочего участка была взята труба из 08X18H10T размерами 80x80x3 мм. Высота рабочего участка составила 1100 мм. К противоположным длинным сторонам трубы подводится и отводится тепловая мощность таким образом что температура нагретой стороны составляет 450 °С а холодной 400. Используя термодарный корреляционный метод было установление возникновение одного циркуляционного контура по всей длине рабочего участка. Также произведено сравнение результатов режимов в зависимости от содержания кислорода в свинце.

Литература

1. **Brito, D., Nataf, H.-C., Cardin, P., Aubert, J., & Masson, J.-P.** (2001). Ultrasonic Doppler velocimetry in liquid gallium. *Experiments in Fluids*.
2. Пространственно-временные характеристики температурных пульсаций турбулентного потока и измерения скорости на их основе, П.А. Сардов, А.Н. Сорокин и И.А. Беляев.

*А.Д. Злобина, студ.; Е.А. Бурдюкова, асп.;
рук. Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., ст.преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В РАСПЛАВЕ СОЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Одной из проблем развития современной ядерной энергетики является ограниченность ресурсов уранового топлива. Решением данной проблемы является замыкание топливного цикла и разработка реакторов — размножителей, а также использование в качестве топлива природного урана и тория. Жидкосольевые ядерные реакторы (ЖСР) с циркулирующим топливом в долгосрочной перспективе могут быть востребованы в качестве установки в системе ядерной энергетики для дожигания минорных актинидов из ОЯТ реакторов с твердым топливом.

Были рассмотрены конструкционные особенности реакторов на расплавах солей, а также возможное применение их в ядерных и гибридных установках.

Работа посвящена исследованию особенностей гидродинамики и теплообмена имитатора расплава соли (водный раствор КОН 20%) в вертикальной круглой трубе под действием сильного поперечного магнитного поля ($Ha=45$) в условиях переходного режима течения ($Re=3000-5000$) и однородного обогрева. В условиях изотермического турбулентного потока под воздействием поперечного магнитного поля происходит рост интенсивности температурных пульсаций. В условиях сильного поперечного магнитного поля и высокого теплового потока образуются возвратные течения у стенки, которые приводят в дальнейшем к образованию вторичных вихревых структур, оси которых параллельны вектору магнитной индукции. В последствии происходит рост интенсивности пульсаций теплогидравлических характеристик потока, которые подавляются магнитным полем.

Литература

1. **Беляев И.А., Захарова О.Д., Краснощекова Т.Е., Свиридов В.Г., Сукомел Л.А.** Лабораторное моделирование теплообмена жидкостей с числами $Pr > 1$. Теплоэнергетика, 2016.
2. **Дементьев Б.А.** Ядерные энергетические реакторы — М.: Энергоатомиздат, 1978.
3. **Блинкин В.Л., Новиков В.М.** Жидкосольевые ядерные реакторы. — М.: Атомиздат, 1978, 1112 с.
4. **Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах: учебное пособие / Л.Г. Генин, В.Г. Свиридов.** — Москва: Издательство МЭИ, 2001. — 200 с. — ISBN 5-7046-0650-4.

А.Р. Ахмадулина, С.М. Юдин, студенты;
рук. Ю.П. Ивочкин, д.т.н. (ОИВТ РАН)

О ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕВИТАЦИОННОЙ ПЛАВКИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ИНДУКТОРЕ КОНИЧЕСКОГО ТИПА

Одно из основных преимуществ применения левитационной плавки металлов в промышленности — это прямое воздействие э/м полем на нагреваемое тело, т.к. таким образом можно получать чистые расплавы металлов ввиду бесконтактности метода.

Так, с помощью плавления в подвешанном состоянии очень удобно подготавливать высокотемпературный расплав для изучения закономерностей маломасштабных паровых взрывов при взаимодействии металла и жидкости — охладителя или получения металлов аморфной структуры [1].

Проблема заключается в том, что хорошо подвешиваются в основном легкоплавкие металлы — Al, Li, в то время как особый интерес представляет плавление тяжелых тугоплавких металлов, таких как Mo, Fe и др.

С целью определения возможности плавки любого металла в подвешенном состоянии в индукторе конического типа была разработана оценочная методика анализа реализуемости данного явления, а также проведено численное моделирование, этапы которого можно разделить на решение электромагнитной и тепловой задач.

В результате были получены зависимости z-проекции э/м силы $F_{эм}(I)$ и $F_{эм}(f)$ при постоянной геометрии индуктора, а также $q_v(I)$ и $q_v(f)$. Проведен тепловой анализ, который позволили установить значения I и f , достаточных для левитации образца.

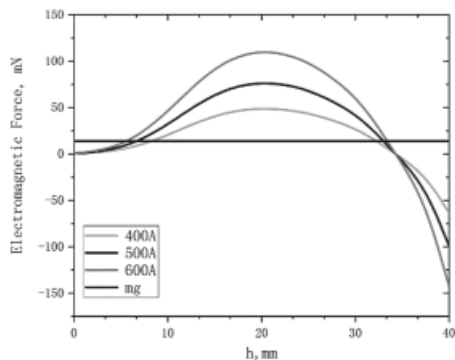


Рис. 1. Зависимость э/м силы по мере погружения в конический индуктор для Al при частоте $m/p f=60\text{кГц}$

Литература

1. Ивочкин Ю.П. и др. Экспериментально-расчетное исследование возможности получения аморфных сплавов при взрывной фрагментации горячих капель в низкотемпературном охладителе // Тепловые процессы в технике. — 2020. — Т. 12. — №. 3. — С. 136–142.

И. Ф. Кулаков, студ.;
рук. Г. Г. Яньков, д. т. н., проф. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ У ВЕРТИКАЛЬНОГО РЯДА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОБОГРЕВАЕМЫХ ТРУБ

В работе представлены результаты численного моделирования естественной конвекции у вертикального ряда из 10 горизонтальных обогреваемых труб, а также около одиночной горизонтально расположенной обогреваемой трубы. На поверхности труб задавалась плотность теплового потока. Математическая модель включала двумерные уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Предполагалось, что режим свободной конвекции является ламинарным. Числа Рэлея, рассчитанные по диаметру труб и плотности теплового потока, изменялись в диапазоне $10^3 < Ra < 10^5$. Силы плавучести моделировались с помощью приближения Буссинеска. Обработка полученных результатов выполнена как с учетом, так и без учета теплового излучения с поверхности труб. Для валидации результатов расчета проводилось сравнение чисел Нуссельта для каждой из труб в пучке, а также для одиночной трубы, с числами Нуссельта, определёнными экспериментально в [1].

Численное моделирование осуществлено с помощью CFD-кода ANES [2]. Расчеты проводились как в стационарной, так и нестационарной постановках.

Литература

1. **К. Kitamura.** Fluid flow and heat transfer of natural convection induced around a vertical row of heated horizontal cylinders // International Journal of Heat and Mass Transfer 92 (2016), pp. 414–429.
2. **Код ANES [Электрон. ресурс.]** [http:// anes.ch12655.tmweb.ru/](http://anes.ch12655.tmweb.ru/)

*Д.Д. Артамонова, студ.; рук. О.И. Коновалов, м.н.с.
(НИЦ «Курчатовский Институт», Москва)*

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МОДУЛЯ VAPEX-M В СОСТАВЕ КОДА СОКРАТ-B1/B2 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВА С ВОДОЙ

В настоящий момент наработана база экспериментов, моделирующих процессы термического взаимодействия кориума с водой, которые могут протекать на поздней стадии тяжелой аварии с плавлением топлива на АЭС. В данной работе внимание уделено отдельным экспериментам на установках FARO [1, 2] и KROTOS [3], цель которых получение данных о динамике взаимодействия расплавов U-Zr с водой.

Для численного анализа энергетического взаимодействия расплава с водой использован модуль VAPEX-M в составе тяжелоаварийного кода СОКРАТ-B1/B2. VAPEX-M позволяет моделировать процессы перемещения струй расплава в воде, процесс фрагментации; получить изменение давления, при контакте расплава с водой, количество энергии, переданной от массы расплава к воде, паровой фазе и межфазной границе; массы капель и струи расплава. При анализе применимости модуля VAPEX-M получено, что встроенные модели накладывают ограничение на начальную скорость струи.

Было проведено численное моделирование отдельных экспериментов FARO L-31 [2] и KROTOS-45 [3]. Получены данные по давлению, энергии, температурам воды и пара.

Сопоставление результатов численного расчета с экспериментальными данными FARO L-31 и KROTOS-45 выявило удовлетворительное совпадение. Полученные результаты численных расчетов расширяют валидационную базу модуля VAPEX-M, представленную в работе [4].

Литература

1. **Magallon D., Huhtiniemi I., Hohmann H.** Lessons learnt from FARO/TERMOS corium melt quenching experiments. European Commission-Joint Research Centre, Institute for Systems, Informatics and Safety, Ispra 21020 (VA), Italy. 1998.
2. **Magallon D., Huhtiniemi I.** Corium melt quenching tests at low pressure and subcooled water in FARO. Nuclear Engineering and Design, 204, 369–376. 2001.
3. **Huhtiniemi I., Magallon D., Hohmann H.** Results of recent KROTOS FCI tests: alumina versus corium melts. 1 June 1998.
4. **Melikhov V., Melikhov O., Yakhush S., Rtishchev N.** Validation of Fuel-Coolant Interaction Model for Severe Accident Simulations. Hindawi Publishing Corporation Science and Technology of Nuclear Installations Volume. 2011.

Р.А. Дуплянкин, асп.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ КИПЕНИИ

В работе рассматриваются особенности пленочного кипения при интенсивном охлаждении поверхности с помощью свободных струй недогретой жидкости. Неоднозначными вопросами исследования струйного охлаждения являются возможность контакта жидкости с поверхностью нагревателя при уровне температур, превышающем термодинамический предел перегрева, а также механизмы отведения тепла от поверхности в таких режимах.

По мере охлаждения в пленочном режиме кипения под слоем жидкости образуется темное пятно, обычно интерпретируемое как смоченная область поверхности. О наблюдениях такого рода сообщают в многочисленных экспериментальных работах. В экспериментах [1] показано, что для водяной струи с недогревом $\Delta T_{\text{sub}} = T_w - T_s = 80^\circ\text{C}$, при скорости $w_{\text{jet}} = 1 \text{ м/с}$ и диаметре струи $d_{\text{jet}} = 8 \text{ мм}$ в области темного пятна может быть достигнуто значение теплового потока с поверхности $q_w = 5 \text{ МВт/м}^2$ при уровне температур поверхности $T_w = 574^\circ\text{C}$. Такой тепловой поток не может быть отведен в обычном пленочном режиме кипения, что согласуется с расчетами по модели [2] для пленочного кипения струи недогретой жидкости на поверхности.

Со снижением температуры поверхности уменьшается также, и толщина паровой пленки что приводит проникновению крупных неровностей (см. рис. 1) поверхности в жидкость. В работе выполняется моделирование генерации вихрей на массивах таких неровностей, погруженных в жидкость для определения отводимого в жидкость теплового потока.

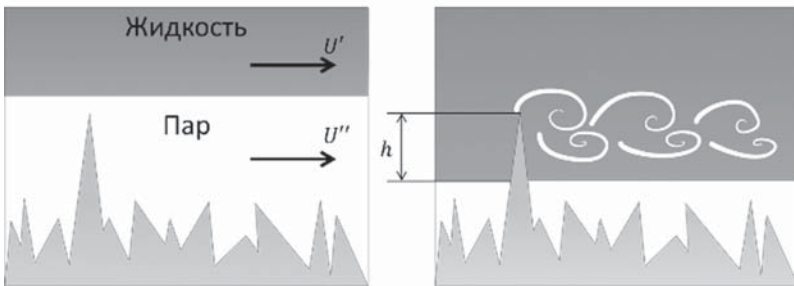


Рис. 1. Вихреобразование на неровностях поверхности погруженных в жидкость

Литература

1. **Leocadio H., Geld C., Passos J.** Rewetting and boiling in jet impingement on high temperature steel surface // *Phys. Fluids*. 2018. Vol. 30. doi: 10.1063/1.5054870
2. **Liu Z.H., Wang J.** Study on film boiling heat transfer for water jet impinging on high temperature flat plate // *Int. J. Heat Mass Transf.* — 2001. — Т. 44. — №. 13. — С. 2475–2481.

К.Н. Елисеев, асп.; рук. Г.Г. Янков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ РАСЧЁТНОГО CFD-КОДА ANES ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ О ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА В УЗКОЙ И ВЫСОКОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСТИ (2D) ПРИ ПОСТОЯННОЙ РАЗНИЦЕ ТЕМПЕРАТУР МЕЖДУ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ

Цель работы — верифицировать модели турбулентности из кода ANES [3] для дальнейшего расчёта с его помощью задач естественной конвекции в проектируемых системах хранения отработанного ядерного топлива.

В численных расчётах максимально полно воспроизводятся условия эксперимента [1] по измерению средних температуры вертикальной компоненты скорости воздуха, движущегося за счёт естественной конвекции, вызванной постоянной разностью температур на вертикальных боковых стенках узкой и высокой вертикальной прямоугольной полости. Вычисления проводятся как в приближении постоянных свойств воздуха, так и с учётом их зависимости от температуры [2]. Срезы указанных полей на разных высотах полости сравниваются с экспериментальными данными. Также разными способами вычисляется градиент температуры для оценки тепловых потоков через вертикальные стенки.

В качестве критерия корректности расчётов также используется число Нуссельта, которое сравнивается со значениями, полученными по эмпирическим формулам из [4] и [5]. Обсуждаются полученные расхождения. Дополнительно выполняются расчёты для больших разниц температур, чтобы режим течения заведомо соответствовал развитой турбулентности.

Литература

1. **Betts P.L., Vochari I.H.** Experiments on turbulent natural convection in an enclosed tall cavity, *International Journal of Heat and Fluid flow* 21 (2000) 675–683.
2. **Lemon E.W., et al.** Thermodynamic Properties of Air and Mixtures of Nitrogen, Argon and Oxygen From 0 to 200 K at Pressures to 2000 MPa, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 29, 331 (2000).
3. Сайт расчётного CFD-кода ANES (электронный ресурс): <http://anes.ch12655.tnweb.ru/index.php/features>.
4. **Уонг Х.** Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров, М.: Атомиздат, 1979.
5. **Леонтьев А.И. (ред.)**. Теория тепломассообмена, М.: МГТУ, 2018.

Я.С. Муратова, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ПАКЕТАХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБ

Исследование параметров конденсации фреона на горизонтальных пучках труб является актуальной темой в современной науке и технике. Фреоны широко используются в холодильных системах и кондиционировании воздуха. Конденсация фреона на горизонтальных пакетах труб является одним из ключевых процессов, влияющих на эффективность работы таких систем. Ввиду недостаточной изученности процесса не существует зависимостей, точно описывающих явления конденсации пара на пакетах труб, поэтому возникает необходимость проводить экспериментальные [1] и численные [2–3] исследования. Оптимизация процесса конденсации может привести к улучшению производительности и энергоэффективности холодильных систем и кондиционеров воздуха, снизить экологическое воздействие и стимулировать развитие новых технологий в области теплообмена.

В работе выполнено численное моделирование экспериментальных режимов [1] конденсации хладона R-21 на пакетах горизонтальных труб по упрощенной модели, реализованной в коде ANES. Для внешнего потока пара решаются двумерные уравнения однофазной гидродинамики и энергии, процесс конденсации моделируется на уровне граничных условий на поверхности трубок с учетом движущейся ламинарной пленки конденсата. Теплоотдача через стенку трубок от пленки к охлаждающей воде описывается с помощью одномерной модели стенки. Модель учитывает орошение нижних трубок пучка конденсатом, образовавшимся на верхних трубах. Проведена серия исследований при различных скоростях и недогревах стенки до температуры насыщения. Представлены результаты сравнения расчета с доступными в литературе данными.

Литература

1. **Гогонин И.И.** Исследование теплообмена при пленочной конденсации пара. Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2015.
2. Численное моделирование конденсации пара при течении парогазовой смеси в канале переменного сечения с пучком гладких горизонтальных труб / К.Б. Минко, В.И. Артемов, Г.Г. Яньков, В.С. Крылов // Теплоэнергетика. 2019. № 12. С. 68–76.
3. Моделирование процессов конденсации насыщенного пара из нисходящего потока на поверхности горизонтальной трубы методом VOF / К.Б. Минко, В.И. Артемов, А.А. Клементьев, С.Н. Андреев // Теплоэнергетика. 2023. № 12. С. 31–46.

Секция 44

ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Technologies and physics of low temperatures

Председатель секции: д.т.н., профессор Крюков Алексей Павлович

Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Александр Андреевич

Л.О. Асланян, студ.; рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДСОРБЦИИ CO₂ В БЛОКЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Природный газ активно применяется во многих областях нашей жизни, отсюда возникает проблема получения сжиженного природного газа. До получения готового продукта, сырье проходит несколько этапов: добыча, осушка, очистка, сжижение. Так как сам природный газ представляет собой сложную смесь газов непостоянного состава (пары воды, кислые компоненты, тяжелые углеводороды, азот, CO₂ и др.), для производства СПГ существуют строгие ограничения по очистке, так, например согласно [1] содержание CO₂ в магистральном газе (МГ) не должно превышать 40 000 ppm, а в сжимаемом газе — 20..200 ppm. Такие небольшие значения содержания примеси связаны с тем, что углекислый газ имеет более высокую температуру кристаллизации и в процессе ожижения природного газа будет выпадать в твердый осадок, что может привести к серьезным проблемам при работе системы.

На данный момент широко применяются два подхода к очистке ПГ от примесей CO₂: абсорбционный (аминовая очистка) и адсорбционный с применением твердых сорбентов.

В работе рассматривается классический блок комплексной очистки природного газа (БКО), основанный на процессе короткоциклового адсорбции (КЦА).

Основная цель настоящей работы заключается в проверке методики моделирования процесса адсорбции CO₂ с применением расчетного пакета, реализующего методы конечных объемов CFD (Computational fluid dynamics) из ПГ путем сравнения расчетных данных с известными экспериментальными сторонних авторов.

Литература

1. **ОСТ 51.40-93** «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия».

И.А. Корняков, асп.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОЛЕБАНИЯ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕ-II ПОД НАГРЕВАТЕЛЕМ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ВНУТРИ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Во время проведения экспериментов по кипению He-II в замкнутом объеме внутри пористой структуры выделено несколько различных режимов кипения [1]. Режим кипения с тонкой пленкой и режим кипения с раскрытой межфазной поверхностью существовали на протяжении $\sim 0,4$ сек, что дало возможность рассмотреть их как квазистационарные.

Главными задачами исследования являются: построение зависимостей расстояния от нагревателя до межфазной поверхности для экспериментальных серий, в которых наблюдался режим плоской границы раздела фаз под нагревателем, аппроксимации колебаний и сравнение их амплитуды и частоты с движением межфазной поверхности в U-образном канале с монодисперсной пористой засыпкой.

Одним из вырожденных режимов с незамкнутой межфазной поверхностью является раскрытая граница раздела фаз. Уровень жидкости располагается на центральной линии нагревателя. Нижняя часть межфазной поверхности находится под нагревателем и повторяет его форму. Еще один подрежим представляет собой плоскость, расположенную под нагревателем, то есть большая часть внутреннего объема экспериментальной ячейки заполнена паром. Этот режим отличается высокой температурой нагревателя (до 200 К) и близостью температуры жидкости к λ -точке. На кадрах видеозаписи граница раздела фаз He II – пар представляет собой горизонтальную плоскую линию (в сечении, соответствующем смотровому окну). При этом межфазная поверхность двигается вниз, от нагревателя, затем достигает нижней точки и возвращается вверх в сторону нагревателя. Разбивая видеозапись экспериментальной серии на отдельные кадры, где зафиксирован режим с колебаниями плоской межфазной поверхности и определяя положение границы раздела фаз относительно нагревателя, удастся построить зависимость расстояния до межфазной поверхности от времени. Амплитуда колебаний в пористой структуре в закрытом объеме на цилиндрическом нагревателе (3,6÷5,8) мм, частота (2,17÷6,20) Гц.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 23-29 -00342.

Литература

1. **Пузина Ю.Ю., Крюков А.П.** Режимы кипения гелия II на цилиндрическом нагревателе внутри пористой структуры // Теплофизика высоких температур. 2023. Т. 61. № 3.

*А.В. Рудов, асп.; В.В. Рудова, студ.;
рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ИСПАРЕНИИ В СУЩЕСТВЕННО НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ

Целью работы является прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана для существенно неравновесных процессов испарения-конденсации на поверхностях с учетом объемной конденсации в паре при различных исходных данных.

Рассматривалась следующая постановка задачи. Область, занятая паром, ограничена двумя бесконечными плоскими поверхностями, на которых возможны процессы испарения и конденсации. До начала рассматриваемого процесса температуры поверхностей одинаковы и равны некоторой заданной величине, пар находится в состоянии насыщения при этой температуре. В начальный момент времени температура «горячей» поверхности мгновенно увеличивается до заданного значения, и на этой поверхности начинается испарение. Расчет прекращался после того, как вызванное испарением возмущение в паре доходит до «холодной» межфазной поверхности.

Получено решение для пяти веществ (вода, метанол, этанол, азот, аргон) при значениях безразмерной температуры горячей поверхности TG от 1,05 до 1,5. Результаты расчетов для различных веществ и различных параметров расчета качественно не отличаются. Построены зависимости степени пересыщения (отношения давления пара к давлению насыщения при его температуре) и потока массы от величины TG . Степень пересыщения сравнивалась с отношением давлений насыщенного пара при температурах горячей и холодной поверхностей. Поток массы, полученный в результате числового расчета, сравнивался с потоком массы, вычисленным по предложенной в [1] формуле.

Расчеты показали, что высказанное ранее предположение о близости степени пересыщения и отношения давлений не подтвердилось. Поток массы при численном решении существенно отличается от вычисленного по формуле [1]. Возможной причиной этого является отсутствие стационарного состояния и зависимость потока массы от координаты в области между фронтом возмущения и поверхностью испарения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 22-19-00044.

Литература

1. **D.A. Labuntsov, A.P. Kryukov**, Analysis of intensive evaporation and condensation // Int. J. Heat Mass Transfer, 1979. Vol. 22, p. 989–1002.

Е.Д. Лаптева, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИОГЕННЫХ КОРПУСКУЛЯРНЫХ МИШЕНЕЙ В ИНЕРЦИАЛЬНОМ ТЕРМОЯДЕРНОМ СИНТЕЗЕ

Существующие традиционные источники энергии имеют ряд недостатков: загрязнение окружающей среды, невозобновляемость и сложность извлечения ресурсов. В силу этого основные надежды возлагаются на развитие в ближайшие десятилетия термоядерного метода получения энергии, развивающегося в двух основных направлениях: магнитный термоядерный синтез (МТС) и инерциальный термоядерный синтез (ИТС).

Наиболее перспективным термоядерным методом ИТС является Z-пинч. В настоящее время, в связи со значительным прогрессом в создании мощных наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона, появилась возможность создания электростанций на основе соединения Z-пинча с криогенными монодисперсными мишенями.

На основании анализа имеющейся литературы [1] разработан проект термоядерной электростанции на основе Z-пинча с использованием монодисперсных мишеней.

Главными проблемами, тормозящими создание электростанций на основе соединения Z-пинча с криогенными монодисперсными мишенями, являются: недостаток экспериментальных данных по капиллярному распаду жидких струй в среде с пониженным давлением и отсутствие расчётных данных по охлаждению таких струй.

Для экспериментального исследования теплофизических проблем получения криогенных монодисперсных мишеней и их возможного применения в термоядерном синтезе создана экспериментальная установка — прототип криогенной корпускулярной мишени.

Для последующей проверки, полученных результатов, разработаны чертежи генератора капель и элементов сопряжения криогенной монодисперсной мишени с установкой по исследованию Z-пинча АНГАРА-5-1. Также поставлена задача расчета состояния криогенной водородной мишени при контакте с горячей плазмой, а именно траектория её движения, скорость испарения, время существования. Проведён обзор моделей испарения.

Литература

1. **А.В. Бухаров, В.Д. Королев.** Использование дейтериевых конденсированных и криогенных монодисперсных мишеней в качестве нагрузок для исследования мегаамперных Z-пинчей. Физ. плазмы, 2022, Т. 48, № 5, с. 430–450.

Ю.Н. Любецкая, студ. ;
рук. Р.А. Войтович, к.т.н. (НГТУ НЭТИ, Новосибирск)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS

Для создания прототипа установки получения плазмы необходима численная модель низкотемпературной аргоновой плазмы тлеющего разряда низкого давления. Установка представлена в виде полости (1x4 см), наполненной аргоном под давлением 0,5 мм рт. ст., где расположена система электродов. Расчет проведен на двух конфигурациях электродов: плоскость-плоскость и острие-плоскость. На анод подается постоянное напряжение 250 В.

Расчет модели в программе COMSOL Multiphysics отображается в виде тепловых карт. Плотность распределения электронов при электродах плоскость-плоскость имеет более равномерное распределение, чем на модели с электродами острие-плоскость, где скопление электронов происходит у анода (рисунок 1). Электрический потенциал во всем объеме однороден, вблизи области катода потенциал резко уменьшается, а электронная температура резко увеличивается, что характерно для обеих моделей. Наибольшее значение концентрации электронов в модели острие-плоскость равняется $2,93 \cdot 10^{17} \text{ 1/м}^3$, а у модели плоскость-плоскость $2,27 \cdot 10^{17} \text{ 1/м}^3$, что соответствует ожидаемому теоретическому значению концентрации электронов $(1 - 5) \cdot 10^{17} \text{ 1/м}^3$, что позволяет использовать данную модель при создании физической установки.

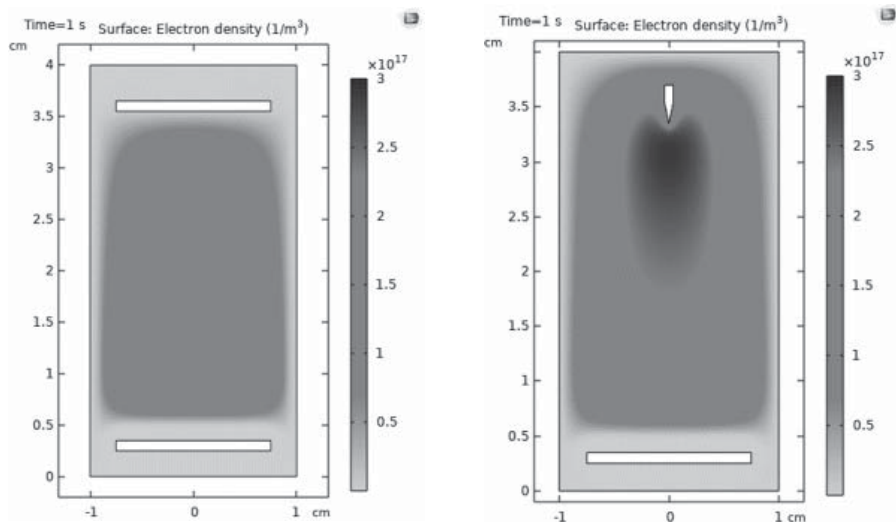


Рис. 1. Плотность электронов при разной форме электродов

Е.А. Евко, студ.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА КОЛЕБАНИЯ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ В U-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ С МОНОДИСПЕРСНОЙ ЗАСЫПКОЙ

Тепломассоперенос при кипении сверхтекучего гелия исследуется уже много лет, и с каждым новым экспериментом раскрываются всё новые эффекты при фазовых превращениях. Ранее выявлены особенности движения межфазной границы в направлении нагревателя в капилляре большой длины при подаче нагрузки, отличающей сверхтекучий гелий от других классических жидкостей [1].

В работах [2] и [3] рассматривается поведение сверхтекучего гелия в пустом U-образном канале и в канале с монодисперсной засыпкой, где подача тепловой нагрузки приводит к появлению устойчивых колебаний межфазной поверхности гелий-II — пар.

Проведено 18 экспериментальных серий со стационарной нагрузкой от 12 кВт/м² до 128 кВт/м² в U-образном канале с использованием пористой засыпки из монодисперсных металлических шариков диаметром 240±5 мкм, которые расположены в нижней части трубки. В продолжении данной работы [3], с помощью обработки видеок кадров определены зависимости амплитуды и частоты колебаний межфазной поверхности от давления. При подаче нагрузки образуется стационарная паровая пробка, которая сохраняется до момента, когда давление среды в среднем составляет 3300 Па. Затем начинаются колебания, амплитуда и частота которых зависят от давления. Для этих серий построены зависимости давления от времени. При переходе через λ -точку колебания в обычной жидкости (гелий-I) прекращаются.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-29-00342).

Литература

1. **Королев П.В., Крюков А.П., Медников А.Ф.** Экспериментальное исследование движения гелия-II в капилляре при наличии паровой полости вблизи нагревателя // Вестник МЭИ. 2006. № 4. С. 27–33.
2. **Евко Е.А., Пузина Ю.Ю., Ячевский И.А.** Исследование движения гелия-II в u-образном канале // Тезисы докладов XXIV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассобмена в энергетических установках», 23–27 мая 2023 года, г. Казань). — К.: ООО ПК «Астор и Я», 2023. Стр. 176–177.
3. **Евко Е.А., Пузина Ю.Ю.** Влияние монодисперсной засыпки на колебания сверхтекучего гелия в U-образном канале // Тезисы докладов (4–14 сентября 2023 г., Сочи, «Буревестник» МГУ). — М.: Издательство Московского университета, 2023. Стр. 43.

Д.К. Захаров, студ.; рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ КЕССОНОВ

Работа посвящена численному моделированию сопряженного теплообмена в системе со сложной геометрией, для которой нельзя получить аналитическое решение. Проведен расчет тепловой работы водоохлаждаемого элемента ограждения автогенной плавильной печи Ванюкова для двух различных вариантов конструкции.

Построение геометрии для рассматриваемой задачи производилось в конструкторском САД. Расчетная сетка и решение уравнений Навье-Стокса в трехмерной постановке осуществляется в программе Ansys Fluent. Данный инструмент позволяет корректно задать необходимые физические модели и выполнить такие расчеты с достаточной точностью за относительно небольшое время.

В результате решения получены трехмерные распределения скорости и давления воды, температуры воды и кессона. Построены наглядные отображения параметров в виде контурных графиков в сечениях и на поверхностях. Исследовано влияние различных параметров на эффективность системы: режима тепловых нагрузок и конструкционных дефектов.

По результатам работы сделаны выводы о предпочтительном варианте конструкции.

Сравнение с экспериментальными данными показало, что предложенная методика численного моделирования может с достаточной точностью решать поставленные технические задачи.

Литература

1. **Валуева Е.П., Свиридов В.Г.** Введение в механику жидкости: Учебное пособие. М: Издательство МЭИ, 2001. — 212 с.
2. **Вернигора А.С.** Влияние технологических режимов плавки медного сульфидного сырья в печи Ванюкова на износ огневой поверхности кессонов // ФГОУВПО Московский государственный институт стали и сплавов. 2009. — с. 159.
3. **Лапин Ю.В.** Статистическая теория турбулентности (прошлое и настоящее — краткий очерк идей) // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Выпуск 2, 2004, С. 7–20.
4. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача // Изд. 2-е. М., «Энергия», 1969. 440 с. с илл.

Д.Л. Рождественская, студ.;
рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЛЕНОЧНОЕ КИПЕНИЕ ГЕЛИЯ-II НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ ОТНОСИТЕЛЬНО БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

В низкотемпературной технике актуальна задача создания и совершенствования систем криостатирования, работающих на температурном уровне ниже 2К, то есть при температурах существования He-II. Потребность в таких температурах испытывают, например, ядерная физика и физика твердого тела — для охлаждения объектов исследования, радиоэлектроника — для охлаждения приемников электромагнитного излучения. Задачей настоящей работы было получение экспериментальной информации о теплообмене в He-II при кипении на горизонтальном цилиндрическом нагревателе в свободном объеме.

Экспериментальный стенд включает систему криостатирования, оптического наблюдения и цифровой видеозаписи, систему подачи тепловой нагрузки и измерения температуры [1]. Криостат, обеспечивающий необходимую температуру менее 2,17 К, состоит из внутреннего рабочего сосуда диаметром 65 мм, заполненного гелием, и внешнего сосуда, заполненного азотом, который играет роль теплового экрана. Нагревательный элемент представляет собой тонкостенную ($\delta < 0.5$ мм) медную трубку наружным диаметром 3 мм и длиной 30 мм. Внутрь трубки вставлен керамический стержень с намотанной на него изолированной тонкой нихромовой проволокой. Проволоку ограничивает термоусадочный уплотнительный материал, тем самым обеспечивается равномерность распределения теплового потока вдоль поверхности.

В ходе работы обрабатывались ранее полученные данные экспериментов по кипению на нагревателе относительно большого диаметра (3 мм). Проведено 6 экспериментальных серий при тепловой нагрузке $q = (22 \div 29)$ кВт/м². При обработке видео были выделены участки существования квазистационарной тонкой замкнутой паровой пленки, определены соответствующие размеры. Получены зависимости толщины пленки от тепловой нагрузки, глубины погружения нагревателя и температуры жидкости.

Литература

1. **Крюков А.П., Королев П.В., Пузина Ю.Ю.** Экспериментальное исследование кипения He-II внутри пористого тела. // Прикладная механика и техническая физика, 2017, № 4. С. 126–134.

Х.А. Цечоев, студент; рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ РАНКА-ХИЛША

Вихревая труба, также известная как вихревая труба Ранке-Хилша, представляет собой механическое устройство, которое разделяет сжатый газ на горячий и холодный потоки. Газ, выходящий из горячего конца, может достигать температуры 200°C, а газ, выходящий из холодного конца, может достигать -50°C. Она не имеет движущихся частей и считается экологически чистой технологией, поскольку может работать исключительно на сжатом воздухе и не использует фреон.

Несмотря на изучение вихревого эффекта в течение почти семидесяти лет, многое остается неясным и до сих пор не создана адекватная общепризнанная физико-математическая модель.

Это оправдывает попытки разработки модели, описывающей явление, поиск лучшей из которых продолжается и в настоящее время.

Целью данного исследования является разработка модели экспериментальной установки и построение ее цифрового двойника для исследования вихревых труб. В ходе работы планируется получить зависимости давлений и температур на выходах на нерасчетных режимах, а также оценить эффект от применения вихревых труб в существующих схемах ожижения в качестве альтернативы турбодетандерам. Для цифрового двойника предлагаются аналитические [1] и численные расчеты вихревой трубки [2], основанные на гипотезе о подогреве периферийных и охлаждении осевых слоев газа в вихревой трубе за счет совершения работы осевыми слоями газа над периферийными силами вязкости из-за градиента угловых скоростей.

Литература

1. **А.П. Меркулов** Вихревой эффект и его применение в технике. Москва, «Машиностроение», 1968, 180 с.
2. **Ш.А. Паралишвили, В.М. Поляев, М.Н. Сергеев** Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения. Москва «Энергомаш», 2000 г, 400 с.

К.С. Ушаков, студ.; рук. И.Н. Шишкова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НА МЕЖФАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ЖИДКОСТЬ-ПАР

В данной работе проводится исследование релаксации газа с учетом возможности непарных взаимодействий частиц. В частности, исследование затрагивает возможность выбора случайного числа взаимодействующих частиц с различными статистическим распределениями. Также исследуется влияние выбранного типа распределения на время релаксации при одинаковых начальных условиях.

Для реализации пространственно-однородной релаксации применяются элементы метода решения кинетического уравнения Больцмана [1]. Используется подход, позволяющий учитывать многочастичные столкновения [2]. Данная модель базируется на представлении о взаимодействии частиц, как о взаимном случайном обмене энергиями между всеми молекулами выделенной группы. Данный концепт обеспечивает как выполнение всех законов сохранения внутри системы, так и соответствует современным трендам физической кинетики.

Одной из особенностей данной работы является сравнение предложенного автором подхода, в котором число взаимодействующих частиц в каждом отдельно взятом взаимодействии будет являться случайной величиной, с рассматриваемой ранее моделью, где это число фиксировано. Также проводится сравнение времени релаксации и погрешностей выполнения алгоритма для различных моделей и наборов исходных данных.

Литература

1. **А.П. Крюков, В.Ю. Левашов, И.Н. Шишкова, А.К. Ястребов.** Кинетическое уравнение Больцмана и подходы к его решению для инженерной практики: учеб. пособие для вузов. — М.: Издательство МЭИ, 2005. — 80 с.
2. **И.Н. Шишкова, А.П. Крюков.** Сквозной метод решения задач переноса массы и тепла в парожидкостных системах, учитывающий многочастичные взаимодействия // Инженерно-физический журнал. Т.96, № 7, 2023.

Д.А. Передерий, студ.; рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ РАНКА-ХИЛША С ПРИМЕНЕНИЕМ CFD-ПАКЕТА

Вихревые трубы находят своё применение в различных отраслях промышленности. В основном, они используются для получения подогретых и охлаждённых потоков газа в различных системах захлаживания и термостатирования. В настоящий момент отсутствует единая общепризнанная физико-математической модель, достоверно описывающая термогазодинамические процессы в вихревых трубах. Для решения данной задачи можно использовать моделирование процессов охлаждения газа средствами численного моделирования газодинамики.

Важную роль играет правильно подобранная модель турбулентности для получения максимально точных результатов термодинамических параметров и получения картины распределения этих параметров по всему внутреннему объёму аппарата, поэтому в работе производится численное моделирование эффекта энергоразделения с применением различных моделей турбулентности.

С помощью численных методов моделирования были получены профили скорости, давления и температуры по продольному сечению всей вихревой трубы Ранка-Хилша.

Литература

1. **Меркулов А.П.** Вихревой эффект и его применение в технике. Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ». Москва 1969 г.

С.Б. Боковенко, асп.;
рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРОБЛЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ СОСТАВОВ Ж/Д ТРАНСПОРТА

В связи увеличением пассажиропотока вагоностроители стараются делать поезда более вместительными и комфортабельными, увеличивая полезное внутреннее пространство вагонов. Это можно сделать только за счет уменьшения «запотолочного» пространства, а также толщины стен, где как раз и прокладываются все инженерные системы вагона, в том числе и воздухопроводы системы кондиционирования и вентиляции.

Увеличение количества пассажиров влечет за собой необходимость увеличения мощности установок кондиционирования подвижных составов, а уменьшение места для прокладки воздухопроводов вынуждает искать новые пути решения задачи по обеспечению комфортной температуры в вагонах для пассажиров.

Еще одной важной задачей является потребность в более точном поддержании температурного режима в отдельных купе в купейных вагонах. Существующие установки кондиционирования уже не соответствуют современным стандартам и требованиям по подготовке воздуха для подачи пассажирам.

Сейчас установки кондиционирования представляют собой моноблок и устанавливаются на крыше поезда [1]. Они способны только охлаждать воздух и подавать его с одинаковой температурой во все купе одновременно.

Решением может стать система кондиционирования по типу чиллер-фанкойл. В данной системе воздух можно охлаждать и подогревать индивидуально в зависимости от требований пассажиров того или иного купе. Также нет необходимости вести большое количество воздухопроводов к установке кондиционирования, нужно только подавать небольшую часть свежего приточного воздуха, а рециркуляцию обеспечить уже непосредственно в каждом отдельном купе.

Литература

1. **Емельянов А.Л., Козин В.М., Царь В.В.** Энергосберегающие системы кондиционирования и вентиляции пассажирских вагонов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2010. № 4 (29).

У.А. Захарова, студ.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОНДЕНСАЦИИ НА ОБЪЕМНУЮ КОНДЕНСАЦИЮ В ПАРОГАЗОВОМ ПОТОКЕ

Основной задачей данной работы является исследование влияния значения коэффициента конденсации на параметры сверхзвукового парогазового потока при гомогенной объемной конденсации. В работе рассматриваются две смеси: водяной пар в воздухе и пары азота в гелии.

Методика расчета базировалась на подходах, изложенных в [1]. Рассматривается сверхзвуковое течение парогазовой смеси в расширяющейся части сопла Лаваля. В качестве математического описания кинетики конденсации использовано кинетическое уравнение для функции распределения капель по размерам, для описания течения парогазового потока использовались уравнения газодинамики, компоненты парогазовой смеси считались идеальными газами, вязкость и теплопроводность не учитывались. Для расчета скорости роста капель применялась формула Фукса, которая не имеет ограничений по числу Кнудсена, однако подразумевает равенство температур фаз. В результате расчета определяются значения температуры парогазового потока, степени пересыщения (отношение парциального давления пара к давлению насыщения при его температуре), массовой доли жидкости в каплях, количества капель, а также других параметров газовой фазы и конденсационного аэрозоля.

Расчеты для различных веществ выполнены с использованием оригинальной программы на языке Fortran в пакете Code:Blocks (свободно распространяемое программное обеспечение). Результаты моделирования течения сверхзвукового потока парогазовых смесей при различных значениях коэффициента конденсации показали, что количество сконденсировавшихся на поверхности капли молекул пара оказывает значительное влияние на протекание процесса объемной конденсации. Уменьшение коэффициента конденсации приводит к уменьшению тепловыделения и заметному изменению параметров потока. В работе также представлено сравнение параметров двух смесей при одном коэффициенте конденсации для демонстрации непосредственного влияния свойств веществ на процесс объемной конденсации.

Литература

1. **Kortsenshteyn N.M., Yastrebov A.K.** Interphase heat transfer during bulk condensation in the flow of vapor — gas mixture // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2012. Vol. 55. P. 1133–1140.

*Г.Г. Шлыков, студ.;
рук. М.С. Зубарев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

Производство водорода на сегодняшний день является неотъемлемой частью мировой энергетики, а доля его использования растет с каждым годом. Водород, как энергоноситель, является перспективным и для нашей страны. Активно ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по развитию водородного транспорта, Москва уже закупила и испытывает отечественный электробус, модернизированный для работы на сжатом водороде. Дальнейшее развитие направления требует активного строительства инфраструктуры снабжения нового транспорта топливом.

Заправочные станции могут представлять собой довольно сложные системы, включающие базу хранения, блок компримирования, систему охлаждения, газификаторы, оборудование для обеспечения безопасности, клапаны Block&bleed, арматуру и т.д. Использование имеющегося на рынке водорода сопряжено с установкой оборудования дополнительной очистки, которое необходимо ввиду использования маслозаполненных компрессоров. Кроме того, может подразумеваться производство водорода непосредственно в территориальных рамках станции. Одним из наиболее сложных в эксплуатации, энергоёмких и критичных для выработки водорода процессов является получение деминерализованной воды. Ошибки на этом этапе резко сокращают срок службы оборудования, повышают его энергопотребление, создают опасные ситуации вплоть до выхода из строя.

В работе рассматриваются подходы к обустройству станции снабжения водородом перспективного автобусного парка. Используются предыдущие наработки по организации замкнутого цикла водоснабжения, с применением обратной конденсации для соответствующего транспорта.

Литература

1. **Joseph Pratt, Danny Terlip, Chris Ainscough, Jennifer Kurtz, Amgad Elgowainy** H2FIRST Reference Station Design Task.
2. **Кулешов Н.В. и др.** Водородная Энергетика.

А.Д. Лапин, студ.; рук. Т.А. Алексеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПАРОГАЗОВОМ ЭЖЕКТОРЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

В докладе рассматриваются результаты математического моделирования процессов в камере смещения парогазового дозвукового эжектора. Моделирование производится при помощи расчётного кода, написанного в рамках данной задачи. В качестве эжектируемого рабочего тела принимается газообразный азот.

Работа включает в себя разработку программного кода для моделирования процессов, происходящих в камере смешения эжектора, последующее математическое моделирование и анализ результатов, полученных в ходе проведенных расчетов.

Для построения математической модели использовались уравнения, описанные в [1] и [2]. Модель построена в цилиндрических координатах и является трёхмерной. Расчёт разделён на две основные части: определение макропараметров эжектирующего и эжектируемого потоков, построение профилей плотности по сечению камеры смешения. Отдельное внимание уделено определению коэффициента аккомодации системы газ-газ. Расчёт коэффициента аккомодации производился на основании методик, предложенных в [3] и [4].

Полученные результаты моделирования (количество захваченных частиц и профили плотности для различных геометрических конфигураций эжектора) сравниваются между собой. На основании этих сравнений делается вывод о наиболее удачной геометрической конфигурации эжектора.

Литература

1. **Соколов Е.Я., Зингер Н.М.** Струйные аппараты. Москва, 1989.
2. **Нестеров С.Б., Васильев Ю.К., Андросов А.В.** Методы расчёта вакуумных систем. Москва, 2004.
3. **Гудман Ф., Вахман Г.** Динамика рассеяния газа поверхностью. Москва, 1980.
4. **Подрыга В.О., Поляков С.В.** Молекулярно-динамический расчет макропараметров газа в потоке и на границе // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2016. № 80. 26 с.

М.С. Козлов, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОГЕННЫХ КОРПУСКУЛЯРНЫХ МИШЕНЕЙ

Одной из основных задач при получении криогенных корпускулярных мишеней из потоков жидкости является рассмотрение теплофизических процессов, происходящих в системе. Так от тепломассообменных процессов и начальных условий будут зависеть диаметр струи, ее скорость, диаметр мишеней и время их замерзания. Полученные частицы являются важной частью в экспериментах, связанных с физикой высоких энергий для изучения взаимодействия с протонными пучками высокой светимости.

Цель поставленной работы состоит в совершенствовании технологии получения монодисперсных мишеней, расчете и моделировании теплофизических процессов для конкретных задач в программном пакете Phoenix.

В работе представлены данные по времени замерзания, размерам мишеней, модель струи жидкости.

Литература

1. **Аметистов Е.В., Дмитриев А.С.** «Монодисперсные системы и технологии» 2002.
2. **А.В. Бухаров, А.Ф. Гиневский, А.Ю. Бурлакова** «Теплофизические проблемы криогенных корпускулярных мишеней» 2014.
3. **А.В. Бухаров, А.С. Дмитриев** «Криогенные корпускулярные мишени в энергетике» 2013.

*М.О. Панькин; А.Ю. Усс, к.т.н.;
конс. А.В. Степанов, д.т.н. (АО «Криогенмаш»);
рук. А.С. Филимонов, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОКОБОРОТНЫХ РОТОРНЫХ МАШИН

По результатам обзора научно-технической литературы были выявлены основные литературные источники, раскрывающие тему применения аддитивных технологий при производстве элементов высокооборотных роторных машин.

Среди таких источников можно выделить статью [1]. Данная статья даёт глубокое понимание процесса позиционирования, печати крыльчатки и процесса её гидрообразивного хонингования, но в данной статье не была отражена оптимизация крыльчатки.

Процесс оптимизации крыльчатки хорошо описывает статья [2]. Под термином “оптимизация” в рассматриваемой работе понимается заполнение внутреннего объёма крыльчатки решётчатыми структурами. Статья раскрывает влияние решётчатых структур на картину напряжённо-деформированного состояния объекта, но в ней не отражены возможные для использования виды решётчатых структур.

Различные виды решётчатых структур, их анализ и сравнение приведены в статье [3]. Достоинством данной статьи является исчерпывающая информация на тему видов решётчатых структур, но в данном случае статья не полностью подходит под рассматриваемую нами тематику, так как используется другая силомоментная картина нагружения.

Каждая из статей дополняет друг друга и по итогу обзора состояния вопроса можно прийти к выводу, что проектирование рабочих колёс новых высокооборотных машин, а также улучшение характеристик уже имеющихся (повышение КПД, надёжности и долговечности) является на сегодняшний день актуальной задачей.

Литература

1. **Alexandra Adiaconitei, Ionut Sebastian Vintila, Radu Mihalache, Alexandru Paraschiv, Tiberius Frigioescu, Mihai Vladut, Laurent Pambaguian**, “A Study on Using the Additive Manufacturing Process for the Development of a Closed Pump Impeller for Mechanically Pumped Fluid Loop Systems”. 2021 г.
2. **Yuan Zhang, Fanchun Li, Dejun Jia**, “Lightweight design and static analysis of lattice compressor impeller”. 2020 г.
3. **Loc Huu NGUYEN, Khoi Thanh NGUYEN**, “Lightweight plastic gear body using gyroid structure for additive manufacturing”. 2022 г.

Секция 45

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Nanotechnologies

Председатель секции: к.т.н. Макаров Петр Георгиевич

Секретарь секции: Журавлев Станислав Сергеевич

К.Т. Чан, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНВЕРСИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПАР, ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОЙ ВОДЫ И ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время большое внимание уделено исследованиям в области зеленой энергетики, включая применение наноматериалов для повышения эффективности энергетических систем. Благодаря улучшенным теплофизическим и оптическим свойствам наноматериалы применяются в энергетике, в частности в солнечной энергетике, как новый класс теплоносителей для производства пара, чистой воды и генерации электрической энергии [1]. Однако, в последнее время эффективность преобразования солнечного излучения в пар в большинстве исследований была оценена главным образом на основе уравнения теплового баланса, где она зависит только от теплоты парообразования и мощности падающего солнечного излучения. В то время как результаты многих экспериментальных исследований показали, что эффективность процессов генерации пара и выработки электрической энергии с помощью солнечного излучения существенно зависит от многих факторов. Более того, экспериментальные данные о эффективности энергетических систем с применением рабочих жидкостей, таких как наножидкости, весьма разбросаны, что в целом трудно оценить и применить полученные результаты для решения практических задач. Поэтому в данной работе предлагается систематизировать и разработать математическую модель для расчетов эффективности конверсии солнечного излучения с использованием наноматериалов в пар, получения чистой воды и генерации электрической энергии различными способами, включая термоэлектрическое преобразование. Разработанная модель позволяет оценить правильность использования в различных энергетических и экологических технологиях типа материалов, геометрии облучения солнечным излучением, его спектральных характеристик, инженерных схем и конструкций для солнечной конверсии, а также многочисленных других факторов, влияющих на факторы эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант 23-19-00840).

Литература

1. **Дмитриев А.С., Клименко А.В.** Перспективы использования двумерных наноматериалов в энергетических технологиях // Теплоэнергетика 2023. № 8. С. 3–26.

К.Т. Чан, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ НАГРЕВА И ИСПАРЕНИЯ ГРАФеновой НАНОЖИДКОСТИ

В последнее время бурно развивается направление с применением наножидкостей для решения задач по теплоинтенсификации, получения чистой и обессоленной воды и др. Среди современных наноматериалов графен является весьма привлекательным благодаря своим теплофизическим и электрическим характеристикам [1]. В рамках данного исследования было рассмотрено влияние магнитного поля на оптические свойства и эффективность процессов нагрева и испарения графеновой наножидкости при взаимодействии с солнечным излучением. Исследование влияния статического магнитного поля выполнено для двух случаев, когда вектор магнитной индукции (\vec{B}) внутри объема образца и вектор интенсивности падающего излучения (\vec{I}) параллельно или перпендикулярно. Влияние медленно вращающегося магнитного поля также было рассмотрено. Получено, что когда магнитные линии и направление распространения излучения расположены параллельно, пропускательность графеновой наножидкости снижается примерно на 15%. Однако следует отметить, что в данном случае образец нагревается и испаряется эффективнее, чем в остальных случаях, примерно на 2% (рис. 1).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант 23-19-00840).

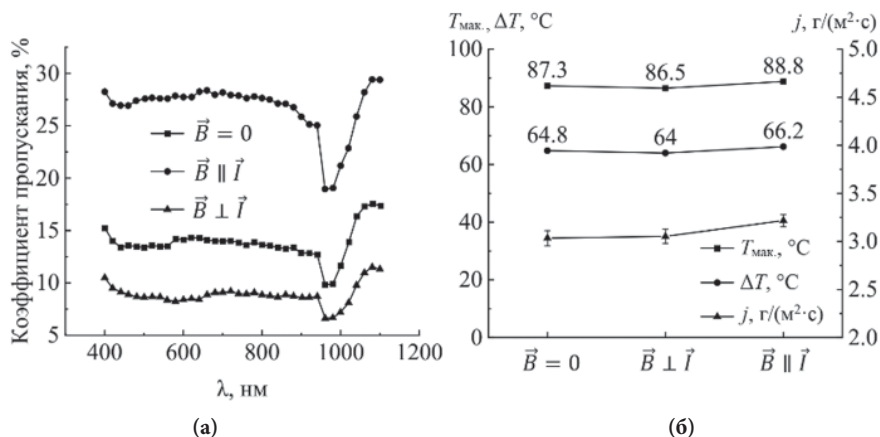


Рис. 1. Влияние относительного положения векторов \vec{B} и \vec{I} на спектр пропускания (а), а также на эффективность процессов нагрева и испарения графеновой наножидкости при объемной концентрации 0,1% после часа (б)

Литература

1. Дмитриев А.С., Клименко А.В. Перспективы использования двумерных наноматериалов в энергетических технологиях // Теплоэнергетика. 2023. № 8. С. 3–26.

К.Т. Чан, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ НАНОЖИДКОСТЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исследование динамики процесса испарения капель наножидкостей на подложках привлекает внимание многих исследователей и играет ключевую роль во многих областях инженерии, таких как покрытия, печатные технологии, микрофлюидные устройства и также солнечная теплоэнергетика [1]. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию процесса испарения капель наножидкостей на основе диэлектрических наночастиц на подложке при взаимодействии с солнечным излучением. Было изучено влияние различных факторов на процесс испарения капель, включая тип материала и концентрацию наноконпонентов, направление облучения, объем капли и материал подложки. В результате были определены критические концентрации наночастиц для капель исследуемых наножидкостей, при которых скорость испарения капель достигает стабильного уровня. Также проанализированы режимы и стадии процесса испарения капель в случае докритической и критической концентраций наночастиц. Показано, что скорость испарения капель под действием солнечного излучения сильно зависит от направления облучения. Влияние объема капли и материала подложки на ее скорость испарения также исследовано. Помимо динамики процесса испарения, проведен анализ морфологии осадочных структур капель (рис. 1), показана их зависимость как от концентрации и типа материала наночастиц, так и от режима испарения капель. Результат данного исследования поможет понять, как ведут себя капли в процессе испарения под действием излучения, особенно в инфракрасной области, и подтверждает перспективность применения наножидкостей в солнечной теплоэнергетике.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант 23-19-00840).

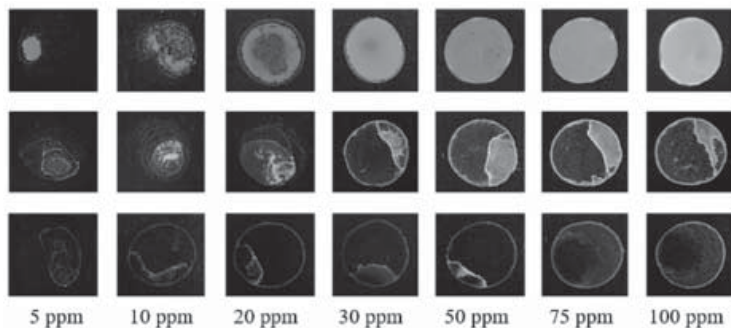


Рис. 1. Морфологии осадочной структуры капель наножидкостей ND/H₂O (1-й ряд), TiO₂/H₂O (2-ой ряд), SiO₂/H₂O (3-й ряд)

Литература

1. Дмитриев А.С., Клименко А.В. Преобразование солнечного излучения в пар — новые возможности на основе наноматериалов (обзор). Теплоэнергетика. 2020, № 2, с. 1–16.

И.С. Никонов, студ.; К.Т. Чан, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПАРЕНИЕ ГРАФЕНОСОДЕРЖАЩИХ КАПЕЛЬ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Проблемы в области энергетики, включая повышение эффективности энергетических устройств и использование зеленых источников энергии для производства электроэнергии, тепла и чистой воды, могут быть решены с помощью применения передовых материалов с нановключениями [1]. Данное исследование было проведено для определения потенциального применения графена в области солнечной теплоэнергетики через эксперимент с испарением капель дистиллированной воды, содержащих наночастицы графена. Эксперимент проводился на установке Krüss EasyDrop

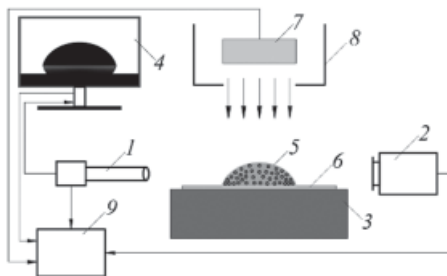


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — видеокамера; 2 — источник света; 3 — столик для образца; 4 — компьютер; 5 — капля с графеновыми нанохлопьями; 6 — подложка; 7 — солнечный имитатор; 8 — защитный корпус с окном для выхода излучения, 9 — блок питания

FM40Mk2 (рис. 1) для двух случаев. В первом случае графен добавлялся в объем жидкости с различными концентрациями (графеновая наножидкость). Для капель графеновой наножидкости исследование направлено на определение основных режимов испарения и критической концентрации графена. Во втором случае графеновые нанохлопья нанесены на поверхность капель жидкости. Это достигалось с использованием поверхности с высокой гидрофобностью (тефлон). В результате чего получены капли с мрамороподобной поверхностью. Полученные капли с различным содержанием графена на поверхности затем подвергались испарению под действием солнечного имитатора. Были исследованы характер изменения основных параметров капель с мрамороподобной поверхностью, морфология осадка после высыхания. Результаты данного исследования позволяют выявить влияние графена на процессы испарения капель дистиллированной воды и оценить перспективность применения графена в области солнечной теплоэнергетики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 23-19-00840).

Литература

1. Дмитриев А.С., Клименко А.В. Перспективы использования двумерных наноматериалов в энергетических технологиях // Теплоэнергетика 2023. № 8. С. 3–26.

А.С. Николаев, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИКА ИСПАРЕНИЯ И СМАЧИВАНИЯ РЕГУЛЯРНОГО АНСАМБЛЯ КАПЕЛЬ НАНОКОЛЛОИДА TiO_2

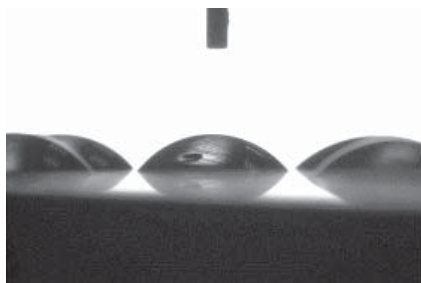


Рис. 1. Система капель

Коллективное испарение нанокolloидных капель, а также их смачивание, оказывают заметное влияние на различные процессы в струйной печати, аддитивных технологиях, микрофлюидике, биотехнологиях. Взаимосвязанным с изучением коллективных эффектов испарения является тема смачивания капель на различных подложках и при различных температурах подложки. Определённый интерес представляет вопрос о зависимости краевого

угла смачивания от температуры подложки, а также влияние эффектов коллективного испарения на режимы смачивания капель.

Целью исследования является изучение воздействия коллективных эффектов на смачивание и испарение капель нанокolloида на основе дистиллированной воды и наночастиц TiO_2 , влияния наночастиц TiO_2 на процессы испарения и смачивание капель.

Проведены исследования закономерностей смачивания и испарения капель нанокolloида в зависимости от температуры и типа подложки, концентрации наночастиц TiO_2 , взаимного расположения и среднего расстояния между каплями. В качестве подложек использовались: алюминий, титан, медь, и сталь, в качестве растворителя использовалась дистиллированная вода. В ходе данной работы была модифицирована экспериментальная установка. Проведенные исследования могут представлять интерес для микробиологической, медицинской, и пищевой промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 23-19-00840).

Литература

1. **A.J. Shah, Y. Sun, X. Yang, V. Chhasatia** Coalescence evaporation and particle deposition of consecutively printed colloidal drops. *Soft Matter*. 2012. 8, 9205.
2. **Martin Bock, Amit Kumar Tyagi, Jan-Ulrich Kreft, Wolfgang Alt** Generalized Voronoi Tessellation as a Model of Two-dimensional Cell Tissue Dynamics, arXiv:0901.4469v2. 2009.12.2.

Т.Д. Серегин, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
науч. конс. Ю.П. Ивочкин, д.т.н. (ОИВТ РАН, Москва)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНЫХ МЕТАЛЛОВ ПОСРЕДСТВОМ ПАРОВОГО ВЗРЫВА

В настоящее время нет четкого и однозначного описания механизмов, приводящих к тонкой фрагментации находящихся в воде горячих капель при коллапсе окружающих их паровых оболочек охладителя. Такое явление играет ключевую роль в развитии парового взрыва — сложного и опасного теплофизического процесса, углубленное понимание механизма протекания которого способствует предотвращению тяжелых аварий в атомной энергетике, в химической и металлургической промышленности.

Помимо высокоинтенсивных импульсов давления паровые взрывы сопровождаются образованием фрагментов расплава, скорость охлаждения которых в зависимости от размера разлетающихся при взрывной фрагментации частиц может достигать 10^8 К/с и выше. Подобные значения скорости охлаждения позволяют относительно простым способом получать аморфные материалы из различных высокотемпературных металлов, которые не доступны для изготовления другими существующими методами.

Цель представленной работы состоит в совершенствовании технологии парового взрыва и численное моделировании этапов процесса в среде COMSOL Multiphysics.

В работе представлены данные по скорости охлаждения металлического образца и условий фрагментаций.

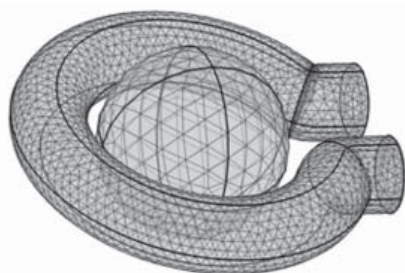


Рис. 1. 3D-модель одновиткового индуктора с металлическим образцом по центру

Литература

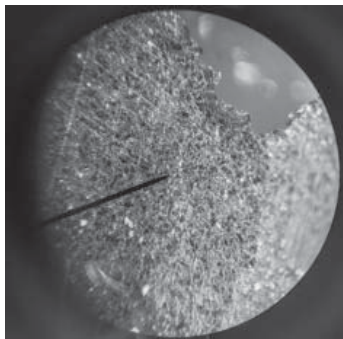
1. **А. Фельц** Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: издательство «Мир». 1986 г. — 558 стр.
2. **Ю.П. Ивочкин, Т.И. Бородина, А.Н. Казаков, И.О. Тепляков** Экспериментально-расчетное исследование возможности получения аморфных сплавов при взрывной фрагментации горячих капель в низкокипящем охладителе // *Тепловые процессы в технике*. 2020 г. Т. 12. № 3. С. 136–142.
3. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача. М.: Изд. «Энергия» 1975 г. — 488 стр.

А.В. Артамонов, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

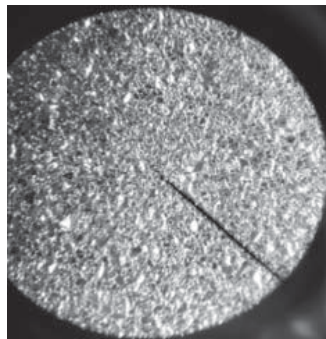
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФЕНОВЫХ И ГРАФЕНОСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК

Модернизация электронных изделий связана с повышением мощности систем, что, в свою очередь, увеличивает тепловыделение от электронных компонентов — это может привести к снижению эффективности устройства ввиду нагрева электронных соединений и увеличению вероятности отказа. Применение графеновых покрытий и пленок (теплопроводность которых в четыре раза выше, чем у меди) является перспективным в системах отвода тепла [1].

В рамках настоящей работы были разработаны две методики получения графеновых пленок, основанные на электрохимических процессах. Первая методика основана на «вспенивании» графеновых частиц, находящихся на поверхности жидкости, дальнейшей сушке полученной пены и обработке давлением. На рисунке 1а представлена полученная при 100х увеличении фотография поверхности полученной плёнки. Вторая методика основана на образовывании на поверхности электролита пленки из частиц графена, «соединенных» между собой осажденной медью. Фотография поверхности полученной плёнки при 100х увеличении представлена на рисунке 1б.



(а)



(б)

Рис. 1. Фотографии поверхностей полученных плёнок при 100х увеличении

Был произведен визуальный анализ морфологии поверхности, а также изучены механические, электропроводящие и теплопроводящие свойства (прочность) полученных пленок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 23-19-00840).

Литература

1. **Pei Huang, Yao Li.** Graphene film for thermal management: A review // Nano Materials Science 3(8). 2020.

В.С. Терешкин, студ.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Важной проблемой при решении задач испарения и конденсации является образование (нуклеация) кластеров в пересыщенном паре. Существуют различные подходы для оценки влияния нуклеации, одним из которых может служить метод молекулярной динамики (МД).

МД методы позволяют получить информацию о положении и скорости атома или молекулы из первых принципов, что может быть использовано при моделировании процесса кластерообразования.

Основной проблемой, при моделировании нуклеации методами МД, является сложность в определении самого понятия кластера и его размера. Существует множество подходов к определению кластеров, некоторые из которых представлены в работе [1].

В настоящей работе за кластер будем принимать устойчивое объединение однотипных элементов, каждый из которых связан хотя бы с одним другим элементом, принадлежащим этому объединению. В качестве критериев связанности выступают критерии близости (расстояние между элементами меньше заданного) и минимума энергии (сумма потенциальной и кинетической энергии строго меньше нуля).

В работе, представлен подход, позволяющий получить пересыщенный пар с различными степенями пересыщения (отношение парциального давления пара к его давлению насыщения при данной температуре) методами молекулярно-динамического моделирования.

На первой стадии, с использованием термостата, получается сильно перегретый пар с заданной температурой и плотностью. Затем термостат отключается, чтобы получить распределение молекул, близкое к равновесному. Данный процесс называется термостабилизацией.

На второй стадии включается термостат с другими параметрами, который за короткое время охлаждает пар до необходимой степени пересыщения, после чего термостат отключается и наблюдается нуклеация кластеров.

В качестве модельного газа выступает аргон с сглаженным потенциалом взаимодействия Леннарда-Джонса.

Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 22-19-00044).

Литература

1. **Satore N.** Clusters in simple fluids // *Physics Reports* 2003, 376 (1), 1–39.

Д.В. Воробьев, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Вопрос активной термостабилизации и охлаждения устройств и приборов оптоэлектроники является актуальным, так как температура влияет на их ключевые характеристики, такие как: длина волны лазерного диода, темновой ток фотодетектора и другие. Вопрос энергопотребления оптоэлектронных устройств является одним из ключевых. Термоэлектрические модули, которые используются для термостабилизации источников излучения, используют значительную часть энергии всего прибора. Постоянный рост мощности лазерных диодов одновременно с уменьшением их размеров, постоянное ужесточение требований к энергопотреблению приводят к более тщательной проработке системы термостабилизации [1–3]. В этой работе мы рассматриваем активную термостабилизацию оптоэлектронных устройств с помощью термоэлектрических модулей. Рассматриваются вопросы оптимизации конструкции оптоэлектронных устройств с целью снижения энергопотребления системы активной термостабилизации.

В данной работе представлены исследования в области теплофизики функционирования оптоэлектронных устройств и приборов с системой температурной стабилизации с помощью термоэлектрических модулей [1, 3]. Представлены схемы оптоэлектронных устройств с термоэлектрическим охлаждением, расчет полей температур и тепловых потоков методом конечных элементов и результаты измерений энергопотребления термоэлектрических модулей под тепловой нагрузкой.

Основная цель работы — изучение особенностей конструкции оптоэлектронных устройств с активной термостабилизацией с помощью термоэлектрических модулей, поиск направлений для снижения энергопотребления термоэлектрических модулей.

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Je-Hyeong B., Favaloro T. and Shakouri A.** 2013 Thin-film thermoelectric characterization techniques *Annu. Rev. Heat Transfer* 16 51–99.
3. **X. Shi, J. Zou, Z. Chen.** Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices, *Chem. Rev.* 120 (2020) 7399–7515.

И.Г. Елисеева, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н. (НИУ МЭИ, Москва)

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, СПОСОБОВ ИХ НАНЕСЕНИЯ, ЭРОЗИОННО-СТОЙКИЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ В СИСТЕМЕ Ti-AL-CR-N, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ НЕСБАЛАНСИРОВАННОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Проведен анализ современной литературы по свойствам покрытий и методам их нанесения.

Основываясь на морфологии роста трещин, сделано предположение, что многослойные покрытия обладают лучшей устойчивостью к росту трещин по сравнению с однослойными. Трещины при эрозионном износе легко зарождаются и распространяются в более твердых слоях, а в слоях более мягкого покрытия зародышам трещин требуется большее количество энергии для распространения и разрушения.

Изучены параметры и особенности нанесения ряда нитридных покрытий: однослойных покрытий (Ti-N, Ti-Al-N) и многослойных покрытий (Cr-Al-Ti-N, Ti-Al-Cr-N) на нержавеющую сталь 12X18H10T с толщиной 5÷6 мкм.

Проведены пробные нанесения ряда нитридных покрытий: однослойных покрытий (Ti-N, Ti-Al-N) и многослойных покрытий (Cr-Al-Ti-N, Ti-Al-Cr-N) на нержавеющую сталь 12X18H10T с толщиной 5÷6 мкм, рассчитанной, исходя из коэффициента распыления применяемых металлов.

Для проведения эрозионно-стойких испытаний изготовлена специальная оснастка для пескоструйной установки, с целью закрепления контрольных образцов на определенном расстоянии и испытаний их в едином технологическом цикле при обработке песком поверхности.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать выводы, что нитридные покрытия способны эффективно улучшить эрозионную стойкость подложки из нержавеющей стали, а также, что многослойные покрытия по эрозионной стойкости превосходят однослойные.

Среди многослойных покрытий лучшие характеристики показывает состав Cr-Al-Ti-N.

Литература

1. **Кузьмичев А.И.** Магнетронные распылительные системы // Киев: Аверс. — 2008. С. 5–6.
2. **Данилин В.С., Сырчин В.К.** Магнетронные распылительные системы // М.: Радио и связь. 1982. С. 72.

С.С. Журавлёв, асп.;
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С каждым годом цифровизация всё больше проникает в различные сферы человеческой жизни. Постепенное удешевление и миниатюризация электронных компонентов позволяет насыщать высокотехнологичными решениями как крупную промышленность, медицину, науку, так и быт простого обывателя.

Повышение производительности современных микропроцессоров осуществляется благодаря совершенствованию технологического процесса их производства. Однако стремление к непрерывному росту вычислительной мощности приводит к повышению тепловыделения таких систем. Перегрев микроэлектронных компонентов негативно сказывается на их сроке службы, а также производительности. При критических и долговременных перегревах возможен выход оборудования из строя. Для обеспечения оптимальных рабочих температур необходимо терморегулирование, т.е. охлаждение функционирующей электроники.

Одним из методов улучшения теплообмена между нагреваемым элементом и системой охлаждения является модификация термоинтерфейсных материалов (ТИМ), так как они обеспечивают тепловой контакт между нагретой поверхностью и поверхностью теплообмена. Повышение коэффициента теплопроводности ТИМ за счёт внедрения в базовую матрицу наночастиц, обладающих высокими значениями теплопроводности [1], может значительно интенсифицировать процесс теплопередачи, тем самым обеспечивая электронным компонентам оптимальные рабочие температуры.

В работе представлены результаты исследования поведения коэффициента теплопроводности при добавлении наночастиц в объем термоинтерфейсов. Измерения проводились на установке собственной разработки, позволяющей с приемлемой точностью измерять теплофизические параметры твердых материалов, такие как теплопроводность и межфазное термическое сопротивление. Метод измерения, используемый в работе, относится к стационарным.

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 790 с.

А.П. Дроздов, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭФФЕКТА ЛЕЙДЕНФРОСТА

Точка Лейденфроста — температура, при достижении которой капля дистиллированной воды, нагреваемая на поверхности гладкой плитки, переходит в режим устойчивого пленочного кипения: нижняя часть капли испаряется настолько быстро, что жидкость не контактирует с поверхностью нагревателя, а время, которое необходимо на её полное испарение, увеличивается в разы, в сравнении с пузырьковым или переходным кипением (рис. 1).

Линке и Алеман [1] в своей статье отмечают, что если нанести на поверхность такого нагревателя определённую регулярную структуру, то под действием эффекта Лейденфроста данные капли жидкости начнут направленное движение вдоль поверхности нагревателя.

Изучение данного явления интересно с фундаментальной точки зрения, поскольку данное движение капель может использоваться как способ их перемещения. Также возможность контролировать движение капель жидкостей имеет значение в технологии lab-on-a-chip, терморегулировании и охлаждении распылением.

Цель данной работы — изучить движение капель воды под действием эффекта Лейденфроста на текстурированных нагреваемых поверхностях, а именно: найти оптимальную структуру поверхности, способствующую стабильному возникновению данного явления, определить скорость движения капель и другие параметры.

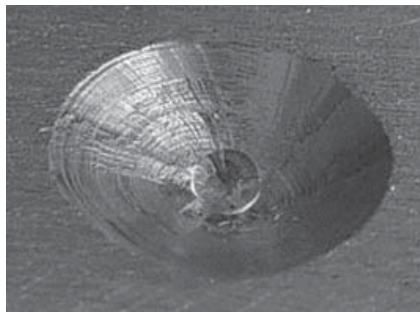


Рис. 1. Капля дистиллированной воды на поверхности алюминия, нагретого до точки Лейденфроста данной жидкости

Литература

1. **H Linke, B.J. Alemán, L.D. Melling, M.J. Taormina.** Self-Propelled Leidenfrost Droplets // PHYSICAL REVIEW LETTERS. — 2006. — Vol. 96, Iss. 15–21.

Направление IX
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА
Thermal power engineering

Руководитель направления:
Директор института тепловой
и атомной энергетики НИУ «МЭИ»
д.т.н., член-корр. РАН
Дедов Алексей Викторович

Секция 46

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Boiler installations and environment protection

Председатель секции: д.т.н., профессор Тупов Владимир Борисович

Секретарь секции: Мухаметов Айнур Булатович

С.А. Бобровский, студ.; рук. Чернов С.Л., к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ КОНВЕРСИИ N В NO

К числу важнейших проблем, связанных со сжиганием органического топлива на тепловых электростанциях, относятся выбросы в окружающую среду вследствие невозможности организации безвредного производства. Вклад теплоэнергетики (ТЭС и котельных) в загрязнение атмосферы составляет около 30%.

Критерием качества топлива предлагается выбрать топливное отношение K_t , которое представляет собой частное от деления содержания углерода топлива и величины выхода летучих. Снижение K_t приводит к более низкой температуре зажигания топлива. С другой стороны, K_t растет с увеличением низшей теплоты сгорания $Q_{нр}$, причем как для бурых, так и для каменных углей эта зависимость является экспоненциальной до теплоты сгорания около 25 МДж/кг. Далее увеличение топливного отношения происходит при практически неизменной низшей теплоте сгорания.

Другим важным критерием является коэффициент конверсии NO X_{NO} , который отражает степень преобразования топливного оксида азота в NO во время сжигания смеси углей. Для оценки образования оксидов азота используется лабораторная трубчатая печь, в которой образуются три вида NOx : термические, топливные и быстрые. В результате эксперимента было установлено, что в сравнении с азотной составляющей углей, топливное отношение K_t играет более важную роль в образовании NO , а также была смоделирована линейная регрессия вида: $X_{NO} = 40,96 - 4,24 \cdot N^c + 1,60 \cdot K_t$ для прогнозирования коэффициента конверсии при сжигании смеси углей с большими различиями в их свойствах [1].

Цель данной научно-исследовательской работы — определение концентрации NO при сжигании различных углей по известному коэффициенту конверсии X_{NO} и сравнение результатов с численным моделированием в *Ansys Fluent*.

Литература

1. **Jiping Zhang, Xiaowei Jin, Changian Wang, Nah Zhao, Pengginn Wang, Defa Che.** Experimental investigation on combustion characteristics NO formation of semi-coke and bituminous coal blends. *Fuel* 247, 2019. P. 87–96.

*В.В. Тишков, Е.А. Рагозина, студенты;
рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Диссипативные глушители могут использоваться для снижения шума вентиляторных градирен, тягодутьевых машин и другого энергетического оборудования [1–2]. Перспективным является использование диссипативных глушителей для снижения шума от парогазовых установок. На сегодняшний день парогазовые установки (ПГУ) эксплуатируются на многих тепловых электрических станциях (ТЭС) России.

Наиболее интенсивными источниками шума при эксплуатации ПГУ являются воздухозаборные устройства и выхлопной тракт [1]. Шум от оборудования ПГУ может существенно влиять на превышение санитарных норм по фактору шума на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ТЭС [2]. В настоящей работе рассмотрено шумовое воздействие ПГУ разной мощности, которые используются на ТЭС России. Выполнены акустические расчеты с использованием специальной программы АРМ «Акустика» при разном количестве и режиме работы оборудования. Определено, что при штатных условиях эксплуатации оборудование ПГУ имеет место превышение санитарных норм на границе санитарно-защитной зоны ТЭС. В результате расчётов определено требуемое снижение уровня шума на различных расстояниях от ТЭС в зависимости от типа оборудования и количества установленного оборудования.

Для безопасной эксплуатации оборудования ПГУ необходима разработка мероприятий по снижению шума, которая основывается на правильном расчете необходимого требуемого снижения. Шум от воздухозабора и выхлопного тракта являются существенными и для его снижения необходима разработка специальных устройств — диссипативных шумоглушителей. Приведены оценочные расчеты габаритных размеров глушителей для различных величин требуемого снижения.

Работа выполнена в рамках проекта «Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляторных градирен» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б.** Экологически безопасные технологии ТЭС с ГТУ: учеб. пособие / — М. Издательство “МЭИ”, 2022. — 136 с.

А.А. Быканов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ОТ ГТУ-160

Одним из наиболее перспективных направлений развития современной энергетики является использование ГТУ-ТЭЦ. Сильное шумовое излучение от газотурбинных установок — один из самых негативных экологических факторов. ГТУ одни из самых мощных источников постоянного шума, поэтому их применение без использования специальных мер по шумоглушению невозможно. На шум от ГТУ влияет множество факторов [1].

Различают шумы, излучаемые от ГТУ через выхлопной и воздухозаборный тракты, а также от корпуса агрегата. Влияние шума от корпуса агрегата определяется звукоизолирующими свойствами помещения, где оно установлено, и, как правило, невелико [2].

В данной работе на примере ГТУ-160 рассмотрены мероприятия по снижению шума от нее.

Для этого была создана в программе АРМ «Акустика» математическая модель станции. Проведенные расчеты в этой программе позволили построить изолинии уровней звукового давления для различных среднегеометрических частот от 63 до 8000 Гц вокруг станции. Было проведено комплексное акустические расчеты для определения вклада каждого из источников шума. Данные расчеты позволили определить основные источники шума и требуемое снижение шума от них. Для окружающего района основным источником шума от ГТУ-160 является выхлопной тракт. Для снижения звуковой энергии, излучаемой от воздухозаборов, разработаны мероприятия по их шумоглушению путем установки в них шумоглушителей дополнительно к штатным глушителям. Глушители шума также устанавливаются на выхлопном тракте и в системах вентиляции кожуха ГТУ.

Выполненный обзор возможных вариантов по снижению шума от ГТ-160 показал, что глушители диссипативного типа эффективно снижают уровень шума от выхлопного и воздухозаборного трактов [3]. После применения диссипативных глушителей уровень шума от ГТ-160 соответствует санитарным нормам на границе санитарно-защитной зоны станции.

Литература

1. **Тупов, В.Б., Taratorin, A.A.** Features of noise radiation from gas turbines (2020) Journal of Physics: Conference Series, 1683 (4), статья № 042089.
2. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
3. **Тупов В.Б., Семин С.А.** Снижение шума от газотурбинной ТЭЦ // Новости теплоснабжения, № 12, 2016, с. 22–25.

А.Б. Мухаметов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ГРАДИРЕН РАЗЛИЧНОГО ТИПА

На тепловых электрических станциях (ТЭС) для охлаждения циркуляционной воды широко используются башенные градирни с естественной тягой, «сухие» и «мокрые» вентиляторные градирни. Эксплуатация градирен различного типа часто связана с повышенным шумоизлучением на окружающий район и требует проведения мероприятий по шумопоглощению [1]. При разработке мероприятий необходимо учитывать влияние региональных климатических факторов на уровень звукового давления (УЗД) и уровень звука (УЗ) в расчётных точках [2].

В настоящей работе для климатических условий различных городов Российской Федерации (РФ) проанализировано изменение УЗД и УЗ в расчётных точках в течение года при отдельной работе градирен различного типа. Для проведения акустических расчётов в программе АРМ «Акустика» построена модель ТЭС мощностью 464 МВт. В работе рассмотрены башенные градирни с естественной тягой и «сухие» градирни с вентиляторами АВО и FANS. В результате акустических расчётов определено, что величина максимальных изменений УЗД в течение года наблюдается на среднегеометрической частоте 4000 Гц и для различных городов РФ меняется от 28 до 42 дБ. С учётом влияния климатических факторов получены значения требуемого снижения шума от градирен различного типа. Отдельно в работе для снижения шума градирен рассмотрена возможность установки акустического экрана. Для обеспечения максимальной акустической эффективности определено оптимальное расстояние от экрана до источника шума. С учётом поправки на влияние климатических факторов определена требуемая высота и длина экрана для обеспечения санитарных норм по фактору шума в течение года.

Работа выполнена в рамках проекта «Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляторных градирен» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

Литература

1. **Тупов В.Б., Мухаметов А.Б.** Особенности излучения шума от вентиляторных градирен большой мощности // «Вестник МЭИ», № 5, 2022, стр. 83–90.
2. **V.B. Tupov, A.A. Taratorin, V.S. Skvortsov.** Effect of Regional Climatic Factors of Reducing Noise Level from Power Equipment // *Thermal Engineering*, no. 65 (11), 2018, pp. 841–845.

И.О. Исаченко, студ.; рук. А.В. Бурмакина, сотр. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Россия — самая большая по площади страна в мире и на долю которой приходится пятая часть мировых запасов древесины. Предприятия, перерабатывающие данный ресурс расположены в удаленных регионах. При этом стоимость передачи тепловой и электрической энергии возрастает. Для снижения энергетических затрат на лесоперерабатывающих предприятиях сжигают собственные отходы, в виде опилок.

Одно из таких предприятий находится в Иркутской области, направление которого — производство целлюлозы. В результате проведенного анализа было установлено, что предприятие располагает отходами от собственного производства в количестве 683 744 т и отходами от сторонних небольших предприятий в количестве 21 621 т, которые в полном объеме не используются. Также был проведен анализ состава отходов, усредненный состав приведен ниже в таблице [1]. Производимая тепловая энергия предприятия составляет 4 201 690 ГДж, при этом 2 865 889 ГДж идет потребителям в границах данного производства.

Таблица 1. Усредненный состав отходов

Состав отходов, %						
S_p	C_p	H_p	N_p	O_p	W_p	A_p
0	50	0,1	0,1	43,9	57	2,4

На предприятии установлены утилизационные котлы для выработки электроэнергии. Количество производимой электроэнергии составило 148 236 МВт·ч, из которых почти 12% идет на собственные нужды, а оставшаяся часть на ТЭС для дальнейшей передачи внешним потребителям. При этом котлы работают на неполную нагрузку.

Таким образом, если использовать отходы предприятия, то дополнительно можно производить 2 366 820 МВт·ч электроэнергии и снабжать близлежащий город. Экономия предприятия может составить более 2,9 млрд. руб.

Литература

1. **Липов Ю.М., Третьяков Ю.М.** Котельные установки и парогенераторы // РХД. 2005.

*Гу Цзинье, Ду Цзэюань, студенты;
рук. Е.Н. Потапкина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УНИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы пылеугольных теплоэлектростанции (далее — ТЭС). Предложено для очистки дымовых газов от летучей золы использовать электро- и тканевые фильтры. Для уменьшения выброса оксидов азота применять установки селективного каталитического восстановления оксидов азота до атомарного азота. С целью уменьшения концентрации оксидов серы в дымовых газах применять мокро-известняковый способ очистки [1].

Предложена унифицированная схема водопользования тепловой электростанции на базе термохимического метода обессоливания с применением испарителей и получением конечных товарных продуктов. Отмечено, что ее применение на ТЭС позволит исключить сброс таких сточных вод как продувочные воды системы оборотного охлаждения, сточные воды водоподготовки, продувку котлов и ливневые стоки. Использование систем локальной очистки и оборотного водоснабжения позволит максимально сократить водопотребление из источника технического водоснабжения. На таких ТЭС может оказаться целесообразным использование комбинированных (гибридных) градирен. Применение комбинированного производства электрической и тепловой энергии позволит сократить выброс в атмосферу углекислого газа.

Разработанные решения апробированы в промышленных условиях, и могут быть рекомендованы к практическому использованию при реконструкции, новом строительстве, либо при разработке нормативных документов по созданию ТЭС благоприятных для окружающей среды [1–3].

Литература

1. **Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремезов А.Е. под ред. Седлова А.С.** Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: уч. пос. для вузов. М.: Из-во МЭИ, 2001.
2. **Потапкина Е.Н., Васина Л.Г., Богловский А.В.** Сокращение временно согласованных сбросов продувки системы гидрозолаудаления ТЭЦ–22 ПАО Мосэнерго // Новое в российской электроэнергетике. 2016. № 12.
3. **Потапкина Е.Н.** Унифицированная схема водопользования для тепловой электростанции // Вестник МЭИ. № 1, 2023.

В.Д. Апаров, студ.; С.Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЫГОРАНИЯ ОТ ТОПЛИВНОГО ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РОССИЙСКИХ УГЛЕЙ

При переводе энергетических котлов ТЭС на альтернативное топливо часто возникает необходимость оценить возможность поддержания устойчивого горения в топке котла с применением численных методов.

В рамках данной работы проведён анализ состава ряда каменных и бурых углей и выполнено их усреднение.

На рисунке 1 представлена зависимость степени выгорания от топливного отношения для каменного и бурых углей.

Топливное отношение рассчитывался по следующей формуле [1]:

$$K_T = \frac{C_T^a}{V_a}, \quad (1)$$

где C_T^a — аналитическое содержание углерода в топливе, %; V_a — аналитический выход летучих, %.

Степень выгорания [1]:

$$x_B = 1 - \frac{A_c \cdot \Gamma_{ун}}{(100 - A_c) \cdot (100 - \Gamma_{ун})}, \quad (2)$$

где A_c — зольность угля на сухую массу, %; $\Gamma_{ун}$ — содержание горючих в угле, %.

Как видно из рис. 1, при значениях топливного отношения более 3,5 для каменных углей и менее 1 для бурых углей x_B начинает очень быстро уменьшаться, что говорит о плохом горении.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00722, <https://rscf.ru/project/22-19-00722/>

Литература

1. **Jiping Zhang**, Xiaowei Jia, etc. Experimental investigation on combustion and NO formation characteristics of semi-coke and bituminous coal blends. *Fuel* 247 (2019) 87–96.

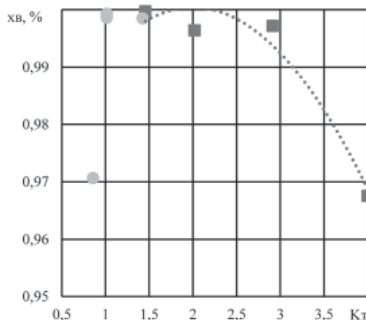


Рис. 1. Зависимость степени выгорания от топливного отношения.

■ — каменный уголь; ● — бурый уголь

Д.Д. Шабалин, студ.; рук. В.Б. Прохоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВОЙ И ПОЗОННЫЙ РАСЧЁТЫ БКЗ-420-140-6

Для верификации расчётов горения бурых углей, выполненных в ANSYS, проведены тепловой и позонный расчёты с разбиением на 4 зоны топки котла БКЗ-420-140-6 по методике [1].

Изменение температуры газов по высоте топки, полученное в позонных тепловых расчетах топки, удовлетворительно согласуется с результатами расчетов полученных с использованием программы ANSYS. Это позволяет использовать ANSYS для дальнейшего исследования процесса сжигания бурого угля в топке котла БКЗ-420-140-6. Температура газов на выходе из топки котла по результатам теплового расчета составила 1115 °С, а в позонном расчете — 1097 °С.

Температура газов на выходе из модели в ANSYS равна 1216 °С. Выход из модели соответствует выходу из третьей зоны позонного расчёта, где температура равна 1195 °С. Полученными в ANSYS, что свидетельствует о правильности проведения расчётов в ANSYS.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты расчётов — зависимости температуры и распределение тепловых нагрузок по высоте топки соответственно.

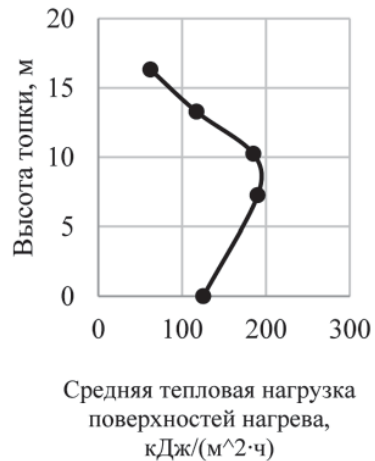
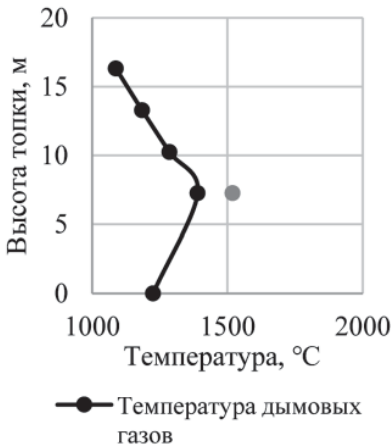


Рис. 1.

Рис. 2.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 22-19- 00722, <https://rscf.ru/project/22-19-00722/>

Литература

1. Митор В.В., Дубровский И.Е., Карасина Э.С. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) под общ. ред. НВ Кузнецова. — 2-е изд., перераб // Энергия. — 1973.

Хэ Ломинь, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ОТ ТЭС КИТАЯ

Тепловая электростанция — это крупное и сложное предприятие, производящее электрическую и тепловую энергию и отвечающее за удовлетворение спроса тепловых и электрических нагрузок потребителей. В Китае, являющемся крупнейшей в мире страной по производству электроэнергии, на долю ТЭС приходится более половины всех генерирующих мощностей, а в контексте китайского предложения по «Углеродной нейтральности» ТЭС являются основной гарантией энергоснабжения Китая [1].

Эксплуатация оборудования ТЭС связана с повышенным излучением шума, которое может вызывать превышение санитарных норм на рабочих местах и в окружающей среде [2]. В городской черте проблема шума от ТЭС проявляется особенно остро. Поэтому существует настоятельная необходимость в эффективном контроле шумового загрязнения от электростанций.

Проведенные в работе исследования позволили выделить основные источники шума среди основного и вспомогательного оборудования ТЭС Китая. Выполненный обзор позволил проанализировать и обобщить решения, используемые в Китае для борьбы с шумом от различного оборудования на тепловых электростанциях.

Для дальнейшего исследования мер по снижению шума на ТЭС в программе АРМ «Акустика» создана модель крупной угольной ТЭС. Проведенные расчеты позволили построить изолинии уровней звукового давления для различных среднегеометрических частот вокруг станции и определить требуемое снижение уровня шума от каждого источника шума на границе санитарно-защитной зоны ТЭС. На основе полученных результатов была разработана целевая программа снижения шума для каждого источника шума на станции с целью комплексного управления шумом на ТЭС.

Литература

1. **China Electricity Council.** Annual Development Report of China's Power Industry 2023, 2023, [online] Available: <https://www.cec.org.cn/detail/index.html?3-322625>
2. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В.Б. Тупов. — М. — Издательский дом МЭИ, 2012.

Д.А. Павлов, студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЛУШИТЕЛЯ В ПОВОРОТЕ

Пластинчатые диссипативные глушители широко применяются для снижения шумового воздействия газовоздушных трактов ТЭС. С одной стороны, они снижают шум, а с другой — препятствуют перемещению рабочей среды по газовоздушному тракту, создавая дополнительное аэродинамическое сопротивление [1]. Последнее, при отсутствии запаса по напору, приводит к снижению паропроизводительности котельного агрегата и, как следствие, снижается выработка электрической и тепловой энергии. Применение глушителя переменного сечения в повороте [2], при оптимальном выборе коэффициента живого сечения, позволяет уменьшить потери давления при течении потока, за счет выравнивания поля скоростей в самом повороте и за ним.

В таблице 1 представлены результаты расчёта изменения выработки электрической и тепловой энергии, при установке глушителя шума в повороте при толщине пластин 100 и 200 мм, а также для различных коэффициентов заполнения канала пластинами для паросиловых турбоустановок сверхкритического давления Т-250-23,5 с котлом ТГМП-344, а также докритического давления Т-110-12,8 с котлом ТГМЕ-464. Из таблицы видно, что при коэффициентах живого сечения менее 50% вырабатываемая электрическая энергия и тепловая энергия снижаются, а при более 67% возрастают, причем с ростом толщины пластин глушителя выработка электро- и теплоэнергии также возрастает.

Таблица 1. Результаты расчета

Турбоустановка	Толщина пластины, мм	k = 48÷50%		k = 67÷75%	
		N _э , МВт	Q _т , МВт	N _э , МВт	Q _т , МВт
Т-110-12,8	100	-1,2	-2,7	0,9	2,0
	200	-0,4	-0,9	2,5	5,5
Т-250-23,5	100	-5,4	-9,0	1,9	3,5
	200	-3	-4,5	6,4	11,0

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тараторин А.А., Мухаметов А.Б.** Пластинчатый глушитель шума. — Патент RU 215459 U1. — Публ. 14.12.2022. Бюл. № 35.

*Н.Т. Манин, К.С. Рудяков, студенты;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ НА КОТЕЛЬНОЙ В ГОРОДЕ СЫКТЫВКАР

При текущем развитии энергетики в России на большинстве ТЭС и крупных водогрейных котельных, расположенных в центральной части страны, в качестве основного топлива сжигается природный газ. Основной составляющей потери теплоты в газомазутных котлах является потеря тепла с уходящими газами, которая обычно изменяется в пределах от 5 до 6%. Следовательно, единственным путем значимого повышения КПД

газомазутных котлов является глубокое охлаждение дымовых газов на выходе из котла до температуры конденсации водяных паров и полезное использование выделяющейся скрытой теплоты конденсации.

Котельная ЦВК — основной источник централизованного теплоснабжения в г. Сыктывкар. Установленная тепловая мощность 513 Гкал/ч. Тепловая нагрузка 411 Гкал/ч. На данной котельной предлагается установка контактных экономайзеров прямого действия для использования теплоты уходящих газов трёх водогрейных котлов ПТВМ-50. Конструкция контактных экономайзеров обеспечит глубокое охлаждение и конденсацию водяных паров. Основным требованием для нагреваемой среды является температура менее 55 °С для поддержания точки росы. Поэтому, в качестве нагреваемой среды выступит подпиточная вода теплосети. Главная цель — увеличение топливной эффективности более чем на 6,57 тыс. т у.т. в год.

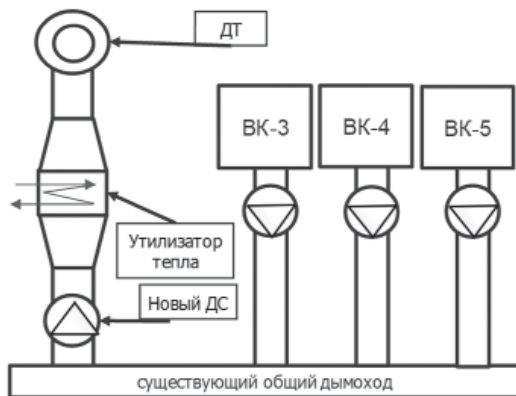


Рис. 1. Схема установки

Литература

1. **Аронов И.З.** Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра : Ленингр. отд-ние, 1990. — 280 с.

*С.С. Алексеев, студ.; О.А. Урвачев, асп.;
рук. И.Л. Ионкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЖИГАНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В КОТЛЕ ТГМ-96 НА РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

Один из вариантов снижения выбросов CO_2 , которому уделяется большое внимание — это замена используемых в настоящее время органических топлив на водород.

На предприятиях нефтепереработки, нефтехимии и металлургии одним из побочных продуктов является газ с содержанием водорода до 85%. Этот побочный газ в виде смеси с природным газом можно использовать в качестве топлива для получения пара в энергетических котлах. Этот пар затем будет возвращаться обратно в технологический цикл или использоваться для выработки электроэнергии.

Ранее выполнялись расчеты на номинальной нагрузке котла ТГМ-96, которые показали возможность достижения номинальных параметров пара на всем диапазоне содержания водорода в метано-водородной смеси от 0 до 100%. Увеличение доли H_2 в смеси оказывает влияние на работу котла за счет изменения состава и объема продуктов сгорания, что приводит к изменению температур по газовому тракту котла.

В данной работе были выполнены многовариантные тепловые расчеты при помощи программы Boiler Designer. Рассматривался диапазон работы котла при снижении нагрузки до 30% при различном содержании водорода, а также при вводе газов рециркуляции.

Снижение нагрузки котла и увеличение доли водорода в смеси приводит к уменьшению тепловосприятия конвективных ступеней пароперегревателя за счет снижения объема и температуры продуктов сгорания перед ними. Было установлено, что при снижении нагрузки ниже определенного уровня обеспечить требуемое значение температуры перегрева пара возможно за счет организации рециркуляции продуктов сгорания в топочную камеру.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке решений для нормальной работы котлов, сжигающих водородосодержащие газы. Личный вклад авторов заключается в моделировании работы котла, проведении расчетов и анализе полученных результатов.

А.В. Сергеева, студ.;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Теплоэнергетика является одним из основных источников выбросов парниковых газов. По Парижскому соглашению Российская Федерация должна обеспечить углеродную нейтральность к 2060 г [1].

Цель работы заключается в определении индикативных показателей удельных выбросов CO_2 при сжигании основных российских энергетических топлив в различных установках при производстве тепловой (т $\text{CO}_2/\text{Гкал}$) и электрической (т $\text{CO}_2/\text{МВт}\cdot\text{ч}$) энергии.

Предварительные расчетные показали, что удельные выбросы CO_2 (т/МВт·ч) от конденсационных ПГУ в 1,5 раза меньше, чем от конденсационных газовых ПТУ и ГТУ и в 3 раза меньше по сравнению с пылеугольными КЭС. В этой связи в качестве приоритетных технологий в электроэнергетике на период до 2035 г. согласно Энергетической стратегии России [2] определены отечественные ГТУ большой мощности и высокоэффективные ПГУ на их основе.

Переход пылеугольных КЭС со сверхкритических параметров пара (25 МПа/545°C) на суперкритические параметры (30 МПа/600°C) позволит за счет более высокого КПД снизить удельные выбросы CO_2 (т/МВт·ч) на 18–20%.

Удельные выбросы CO_2 на единицу производимой тепловой энергии при сжигании различных углей составили от 0,45 до 0,537 т/Гкал. Удельные выбросы CO_2 из газомазутных котлов колеблются в достаточно узких диапазонах: 0,36–0,375 т/Гкал — для мазутов и 0,233–0,251 т/Гкал — для природных газов. При сжигании попутных газов удельные выбросы CO_2 составляют всего 0,16–0,236 т/Гкал.

Разработана методика количественной оценки валовых и удельных выбросов CO_2 при сжигании топлив на ТЭС и в котельных. Результаты проведенных расчетов массовых и удельных выбросов CO_2 для разных типов энергетических установок могут быть использованы для оценки выбросов парниковых газов при подготовке статистической отчетности ТЭС.

Литература

1. **Справочная информация об антропогенных выбросах парниковых газов.** [Электронный ресурс]: <https://pandia.ru/text/80/310/1378.php>
2. **Распоряжение правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р.** Об утверждении «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

К.И. Мальцев, асп.;
рук. А.В. Гиль, к.т.н., доцент (ФГАОУ НИ ТПУ, Томск)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕТИЧНОГО ДУТЬЯ НА ТОПОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Значительная часть выбросов вредных веществ в атмосферу происходит из угольной энергетики, таких как оксиды азота, двуокись серы и твердые частицы (зола, сажа, пыль) [1]. Большинство оборудования тепловых электростанций было спроектировано и введено в эксплуатацию более 40 лет назад, когда основным приоритетом было обеспечение эффективного сжигания с высоким коэффициентом полезного действия и долгосрочной безаварийной работой. В настоящее время предъявляются новые требования к котельным установкам в отношении охраны окружающей среды от выбросов вредных веществ в атмосферу [2, 3].

Объектом исследования является котельный агрегат с топкой с твердым шлакоудалением сечением 7424x7808 мм. Для сжигания твердого топлива применяется тангенциальная компоновка горелок, которые располагаются в углах топочной камеры и направлены по касательной к окружности диаметром 900 мм.

С целью снижения вредных выбросов предлагается установка сопел третичного дутья. Часть воздуха, необходимого для горения, отводится от основных горелок и подается в топку тангенциально через сопла, но с противоположным направлением и к меньшей окружности (700 мм). Сопла третичного дутья, сечением 508x524 мм располагаются выше основных горелок на 4400 мм, на отметке +11,5 м.

В настоящей работе представлены результаты влияния доли третичного дутья на топочные процессы в топочной камере котельного агрегата. В частности, перераспределение между основными горелочными устройствами и соплами третичного дутья в диапазоне $r_{\text{трет}} 5 \div 30\%$. Численные исследования проводились с использованием программного комплекса ANSYS Fluent.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00274, <https://rscf.ru/project/23-29-00274/>

Литература

1. **Жабо В.В.** Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
2. **ГОСТ Р 55173-2012** Установки котельные. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
3. **Бабий В.И., Коглер В.Р., Вербовецкий Э.Х.** Механизм образования и способы подавления оксидов азота в пылеугольных котлах // Энергетик. — 1996. — № 6. — С. 8–13.

А.Б. Мухаметов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ И МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДСТРОЙКИ В ВИДЕ АНТИДИФРАКТОРА

Установка шумозащитных экранов является одним из основных способов снижения шума на путях его распространения. На тепловых электрических станциях (ТЭС) экраны используются для снижения шума градирен, дутьевых вентиляторов и трансформаторов. Наибольшей акустической эффективности экраны достигают в области высоких частот, наименьшей — в области низких [1]. Наиболее «слабым» местом шумозащитного экрана является верхняя кромка. Использование надстроек различного типа позволяет снизить дифракцию звуковых волн с верхней кромки экрана, увеличить его акустическую эффективность и снизить требуемую высоту [2].

В настоящей работе с помощью математического моделирования в программе COMSOL Multiphysics исследованы акустические характеристики надстройки в виде антидифрактора. В работе рассмотрены различные углы установки антидифрактора относительно верхней кромки экрана. Получены значения акустической эффективности надстройки от расположения расчётной точки и источника шума в пространстве. Построены зависимости акустической эффективности антидифрактора с различным углом установки от его диаметра. Определено, что при увеличении диаметра антидифрактора от 0.1 до 0.6 м акустическая эффективность экрана в среднем увеличивается на 3–15 дБА, что позволяет снизить требуемую высоту препятствия на 0.2–1.3 м. Получены рекомендации о выборе угла установки и диаметра надстройки от расположения расчётной точки и источника шума в пространстве. Отдельно в работе выполнен расчёт массогабаритных характеристик экрана с антидифрактором. Определено, что при увеличении диаметра антидифрактора от 0.1 до 0.6 м снижение массы экрана составляет 7–30%.

Работа выполнена в рамках проекта «Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляторных градирен» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

Литература

1. **Тупов В.Б., Мухаметов А.Б.** Влияние опорной поверхности на акустическую эффективность экрана. Журнал «Noise Theory and Practice», том 9, № 2, 2023, стр. 103–114.
2. **Takashi Ishizuka, Kyoji Fujiwara.** Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. Applied Acoustics, vol. 65, no 2, 2004, pp. 125–141.

Секция 47

ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И АЭС Water and fuel technologies for thermal power plants (TPP) and nuclear power plants (NPP)

Председатель секции: к.т.н., доцент Егошина Ольга Вадимовна

Секретарь секции: к.т.н. Большакова Наталия Алексеевна

*Н.Р. Умирова, асп.; А.О. Зорин, А.Ю. Анисимов, студенты,
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ТЭС, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

В настоящее время одной из острых проблем в водоотведении на ТЭС является очистка сточных вод от нефтепродуктов. Согласно действующим нормативным документам нефтесодержащие стоки ТЭС должны быть очищены и повторно использованы в качестве исходной воды на ВПУ или в системе оборотного охлаждения [1].

На кафедре ТОТ НИУ «МЭИ» проведены эксперименты по использованию адсорбционного метода очистки сточной воды от нефтепродуктов. В качестве сорбентов были выбраны сорбент 1 на основе активированного угля и сорбент 2 на основе природного минерального сырья, относящийся к природным цеолитовым туфам, а в качестве эталона сорбент на основе активированного угля.

Фильтры исследовались в соотношении 1:1. В качестве исходных нефтепродуктов использовалось турбинное масло марки ТП-22с.

В ходе экспериментов авторами было определено, что сорбент 1 обеспечивает снижение концентрации нефтепродуктов лучше, чем сорбент 2. Однако при комбинированной загрузке фильтра показатели нефтепродуктов оказываются сопоставимыми с теми, что получаются при использовании исключительно активированного угля.

На практике сорбционные фильтры регенерируют или восстанавливают, обрабатывая паром собственных нужд. На кафедре ТОТ предложен метод обработки сорбентов горячей водой при температуре 100 °С [2].

После регенерации сорбционный материал возвращается в систему и готов к дальнейшей работе. Частота регенерации сорбентов зависит от его эксплуатационных условий и уровня загрязнения.

Литература

1. **И.С. Никитина, В.Б. Прохоров, И.В. Путилова, Н.Д. Рогалев, М.П. Роганков, П.В. Росляков, Г.А. Рябов, А.С. Седлов, В.Б. Тупов, В.В. Шищенко.** Природоохранные технологии на ТЭС. Учебник М.: Издательство МЭИ, 2021. — 452 с.
2. **Ко Ко Маунг.** Экспериментальное исследование сорбционных технологий для очистки сточных вод от нефтепродуктов на ТЭС Мьянмы: дис... канд. техн. наук: 05.14.01 Москва, 2018.

Е.Г. Ухалова, асп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н, доц. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ТЭС

Переход к новым технологиям на ТЭС и АЭС повышает эффективность работы энергоблоков, и ужесточает требования к качеству водного теплоносителя. Непрерывные автоматические измерения в этих условиях достаточно надежно обеспечиваются кондуктометрами, рН-метрами, а развитие информационных технологий позволяет реализовать расчетные методики определения некоторых показателей качества по измерениям электропроводности и рН.

Алгоритм косвенного определения показателей качества водного теплоносителя анализатором «Лидер-АПК».

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ совместно с НПП «Техноприбор» (г. Москва) разработан автоматический анализатор примеси конденсата «Лидер — АПК» [1, 2]. С участием авторов выполнена модернизация расчетного алгоритма, разработан способ количественного определения рН и других показателей качества конденсата, питательной и котловой воды и проведены испытания на промышленных объектах. Способ определения рН, концентрации аммиака (амин), хлоридов и натрия (условного), основан на измерениях удельной электропроводности охлажденных проб: прямой (χ) и Н-катионированной ($\chi_{\text{Н}}$) пробы. Измеренные значения используются в решении системы уравнений математических моделей ионных равновесий питательной воды и конденсата в условиях нормативного качества воды и пара. Принятый подход отвечает требованиям [3] и может использоваться для оперативного автоматического химконтроля качества питательной и котловой воды, и пара — барабанных и котлов-утилизаторов энергоблоков ПГУ.

Литература

1. **Патент на изобретение Российской Федерации № 2573453. МПК G 01 N 21 27, G 01 N 33 18.** Способ определения рН малобufferных предельно разбавленных растворов конденсатного типа / Ларин Б.М., Ларин А.Б., Сорокина А.Я., Кьет С.В.; заявка 14.08.2014.; опубл. 20.01.2016.
2. **Ларин А.Б.** Совершенствование химического контроля водно-химического режима тепловых электростанций на основе измерений удельной электропроводности и рН / А.Б. Ларин, Б.М. Ларин // Теплоэнергетика. — 2016. — № 5. — с. 70–74.
3. **СТО 70238424.27.100.013-2009.** Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условие создания. Нормы и требования. Стандарт организации. — М.: НП «ИнВЭЛ», 2009. — 93 с.

С.С. Костин, студ.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ МЕДИ

В наши дни как никогда актуален поиск новых источников энергии, в частности, использование термоядерной энергии. С этой целью в настоящее время ведутся работы по строительству реактора ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [1]. Для отвода тепловой нагрузки от стенок реактора предусмотрена система «одеял» (англ. blanket). Их охлаждение будет осуществляться водой, циркулирующей в теплообменниках, конструкционным материалом которых являются сплавы на основе меди (CuCrZr-IG) и чистая медь [2]. Поэтому, для разработки водно-химического режима системы охлаждения ITER, в которой температура воды может повышаться до 250°C, принципиально важно иметь сведения о влиянии факторов физического и химического характера на коррозию меди и ее сплавов.

Одним из основных факторов, влияющих на коррозию меди, является растворенный в воде кислород, который выступает в качестве деполаризатора. Наличие кислорода приводит к образованию на поверхности меди оксидов Cu_2O и CuO [3]. Скорость коррозии меди в воде, содержащей кислород, резко увеличивается при наличии аммиака. Это связано с образованием медно-аммиачных комплексов, различных по составу. Значение pH также оказывает влияние на коррозионные процессы, протекающие на поверхности металла. Скорость коррозии меди и её сплавов снижается с увеличением pH примерно до 8,5, при этом наблюдается уменьшение влияния кислорода [3]. Помимо этого, влияние на коррозионные процессы оказывают температура воды и скорость ее движения.

В условиях работы ITER вода находится в области магнитного поля и подвергается воздействию ионизирующего излучения большой мощности, под влиянием которого происходит радиолитическое разложение воды, что также необходимо учитывать при разработке водно-химического режима.

Литература

1. **ITER: the world's largest Tokamak** [Эл. ресурс] URL: <http://www.iter.org/mach> (дата обращения: 04.11.2023).
2. **Digby D. Macdonald, George R. Engelhardt and Andrei Petrov** A Critical Review of Radiolysis Issues in Water-Cooled Fission and Fusion Reactors: Part I, Assessment of Radiolysis Models // Corros. Mater. Degrad. 2022, № 3, P. 470–535.
3. **Петрова Т.И., Воронов В.Н., Дяченко Ф.В.** Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций: уч. М.: Изд-во МЭИ, 2021.

О.А. Петрова, студ.;
рук. Ю.А. Морыганова, к.х.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ ТЭС ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

На тепловых электрических станциях (ТЭС) в настоящее время используются значительные объемы воды, забираемые из природных источников. Вследствие этого, после цикла работы ТЭС, образуются сточные воды различного состава. Данные воды необходимо подвергать очистке, и затем либо снова направлять в цикл ТЭС, либо производить их сброс в природный водоем.

Нефте содержащие сточные воды на сегодняшний день, являются одним из глобальных загрязнителей окружающей среды, даже несмотря на введение безотходных технологий и совершенствование систем очистки стоков. Сброс таких стоков в водоем представляет следующую опасность — нефтепродукты оказывают токсичное воздействие на живущих в водоемах рыб, а также способны нанести вред человеку при использовании данной воды в бытовых целях. Для того, чтобы не нарушать экологию, очистка сточных вод производится до показателей, устанавливаемых нормами СанПиН [1].

На ТЭС в качестве последней ступени очистки стоков, содержащих нефтепродукты, используются сорбционные угольные фильтры, загруженные активированным углем. Использование данной технологии позволяет очищать стоки до требуемого [2] уровня без внесения вторичных загрязнений с химическими реагентами. Самый большой недостаток такой системы — сложность подбора рационального способа утилизации отработавшего сорбента [3].

В данной работе изучены сорбционные свойства различных марок активированного угля при пропускании модельного раствора с содержанием нефтепродуктов 10 мг/л. Также проведено сравнение сорбционных свойств угля до и после проведения регенерации и при организации двухступенчатой очистки.

Литература

1. **Воронов Ю.В., Яковлев С.В.** Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов: — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 — 704 с.
2. **СанПиН 1.2.3685-21** «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
3. **Кузубова Л.И., Морозов С.В.** Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. — Новосибирск, 1992. — 72 с.

К.В. Зотова, асп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ pH_T ПРИ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Одной из основных задач поддержания физико-химических показателей водного режима теплоносителя энергоблоков ТЭС и АЭС в пределах, обеспечивающих длительную надежную эксплуатацию оборудования, является контроль и своевременная коррекция высокотемпературного значения показателя pH_T [1]. В настоящее время не существует надежных способов непосредственного измерения и надежного контроля этого важного показателя.

Автором разработан алгоритм расчета аналитических моделей, описывающих зависимость величины pH_T от измеряемых параметров водной среды, в частности, удельной электропроводности χ_{25} , по которым производится непрерывный контроль и не требуется разработка новых приборов. Например, возможно применение анализатора «Лидер АПК», разработанного на кафедре Химии и химических технологий в энергетике ИГЭУ совместно с «НПП Техноприбор». В этом случае по измеренным значениям удельной электропроводности (χ и χ_H) в охлажденных пробах водного теплоносителя рассчитываются концентрации ионных примесей, а затем производится расчет значений pH_T при рабочей температуре водной среды с использованием математической модели ионных равновесий в «чистой» воде и предельно разбавленных растворах. Однако, определять pH_T также можно по измерению удельной электропроводности водного теплоносителя при фактических параметрах рабочей среды (χ_t). При этом измерение χ_t теплоносителя проводится специальным датчиком [2].

При гидразин-аммиачном водном режиме (ГАВР) питательная вода и пар представляют собой предельно разбавленные растворы, содержащие в основном NH_4OH и NH_4HCO_3 и малые концентрации солей, относимых обычно к $NaCl$. Применяя теорию ионных равновесий, можно рассчитать pH_T для водных моно-растворов аммиака и уголекислоты, при концентрациях, полученных измерением χ и χ_H в охлажденных пробах. Для водного раствора смеси слабых электролитов — аммиака и уголекислоты, расчет pH_T может быть выполнен анализом более сложных систем уравнений ионных равновесий при известных константах диссоциации $K_{i,t}$.

Литература

1. **Тяпков В.Ф.** Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика, 2011. № 5. С. 16–20.
2. **Голубев Б.П.** Электрофизические методы исследования свойств теплоносителей / Голубев Б.П., Смирнов С.Н., Лукашов Ю.М., Свистунов Е.П. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 184 с.

Д.С. Прирез, студ.; рук. С.Л. Громов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНГИБИТОРОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В настоящее время мембранные технологии очистки воды, а в частности применение обратного осмоса, находят широкое применение как на действующих, так и на проектируемых отечественных и зарубежных тепловых электрических станциях.

Как и при любой другой технологии очистки воды, надежная эксплуатация установок обратного осмоса сопряжена с применением различных химических реагентов, в случае обратного осмоса — ингибиторов осадкообразования.

В качестве ингибиторов солеотложений в большинстве случаев используются реагенты на основе фосфоновых кислот, которые наиболее эффективно снижают риски образования осадков малорастворимых соединений [1].

Однако, применение данных ингибиторов приводит к возникновению экологических проблем, поскольку сброс концентрированных растворов от мембранных установок в поверхностные воды приводит к насыщению водоемов биогенными элементами, сопровождающемуся ростом биологической продуктивности водных бассейнов. Кроме того, ингибиторы осадкообразования на основе фосфоновых кислот практически не поддаются биодеструкции [2].

Учитывая данное обстоятельство, представляется актуальным поиск нового ингибитора осадкообразования, который по эффективности мог бы конкурировать с ингибиторами на основе фосфоновых кислот, но при этом снижал бы негативное эвтрофицирующее воздействие на водоемы.

В связи с тем, что на сегодняшний день отсутствует общепринятая методика оценки эффективности ингибиторов солеотложений, для исследования эффективности ингибирующей способности новых композиций антискалантов была разработана специальная экспресс-методика, которая предполагает создание условий процесса концентрирования в обратноосмотических установках.

Литература

1. **Jafar Mazumder M.A.** A review of green scale inhibitors: Process, types, mechanism and properties // Coatings. 2020. Т. 10. №. 10. С. 928.
2. **Рудакова Г.Я., Попов К.И., Ощепков М.С.** Новые отечественные полимерные ингибиторы солеотложений «АМТЕК РО-1» и «АМТЕК РО-2» для предотвращения отложения минеральных солей в установках обессоливания и опреснения морской воды // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. — 2018. — № 2(122). — С. 60–65.

М.О. Парсегов, студ.;
рук. Н.А. Большакова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ИОННОГО ОБМЕНА

Для обессоливания воды наиболее часто применяется метод ионного обмена с катионитной и анионитной загрузкой. Важной характеристикой ионитов является их обменная емкость [1].

Был проведен ряд экспериментов по определению количества поглощенных ионов катионитом. Объектом исследования были выбраны катиониты, чаще всего используемые для очистки воды, содержащей катионы металлов. Через колонку, заполненную катионитом, пропускался раствор хлорида кальция с постоянной скоростью и концентрацией. После проведения фильтрации были проведены операции регенерации и отмывки катионитов.

По формуле [2] определена обменная емкость исследуемых ионитов:

$$ДОЕ = \frac{C \cdot V_{пр}}{V_{ион}},$$

где C — концентрация ионов в пропускаемом растворе, г-экв/дм³; $V_{пр}$ — количество воды, пропущенной через фильтр до проскока поглощаемого иона, см³; $V_{ион}$ — объем ионита, см³.

Результаты представлены в виде таблицы.

Таблица 1. Сравнение обменных емкостей катионитов

№ Катионита	ПОЕ, г-экв/дм ³	ДОЕ, г-экв/дм ³
1	2,00	2,27
2	1,87	2,09
3	2,00	2,00
4	2,00	1,52
5	2,00	2,00

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что величины ДОЕ соотносятся между собой примерно в том же порядке, что и величины ПОЕ, кроме катионита № 4. Если ПОЕ определяется числом привитых к матрице функциональных групп, то ДОЕ определяется в результате лабораторных исследований. Из этого можно сделать вывод, что поглощательная способность всех ионитов, кроме № 4, не уменьшается в период эксплуатации ионитных фильтров.

Литература

1. Ю.А. Тунакова, А.Р. Галимова, А.А. Кулаков. Исследование сорбционных характеристик полимерных ионитов, используемых в водоподготовке // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 10. С. 141–145.
2. ГОСТ 20255.2-89 Иониты. Методы определения динамической обменной емкости. М.: Изд-во стандартов, 1989.

*Н.Р. Умирова, асп.; А.Ю. Котенко,
А.О. Зорин, А.Ю. Анисимов, студенты;
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЧИСТКА ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ ТЭС УЗБЕКИСТАНА

Во всем мире наблюдается тенденция по повторному использованию сточной воды для собственных нужд предприятий. В Узбекистане ввиду рельефных особенностей большая часть территории значительно отдалена от водных источников и тепловые электростанции (ТЭС) располагаются в районах, испытывающих нехватку воды.

На ТЭС в большинстве случаев сточная вода сливается в водоёмы. Такая вода далеко не всегда в значительной степени соответствует нормам ПДК [1]. В настоящее время для Узбекистана следует поднять эту проблему на государственном уровне, ведь индустрия и рынок «зеленого направления» активно развивается, а значит это выгодно не только с экологической, но и с экономической точки зрения.

Авторами предложена схема очистного сооружения ливневых стоков для ТЭС Узбекистана. После очистки в воде удаляются грубодисперсные при-меси, нефте-продукты, а также эта схема обеспечивает обеззара-живание воды, далее ее можно использовать для нужд ТЭС, в циркуляционной систе-ме (СОО) или на ВПУ [2].

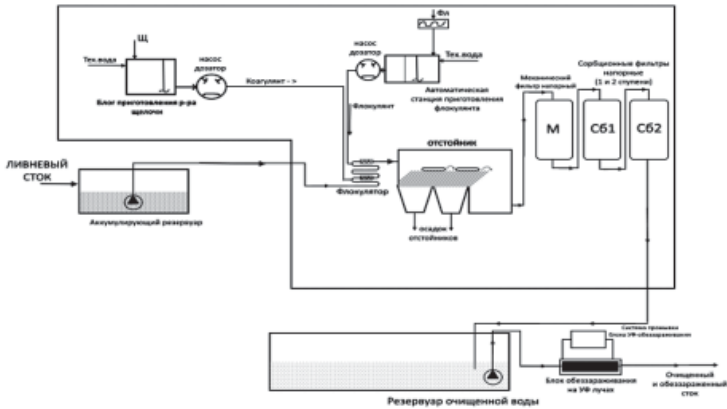


Рис. 1. Принципиальная схема очистного сооружения ливневых стоков

Литература

- СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. — М.: НИИСФ РААСН, 2019.
- Никитина И.С., Прохоров В.Б., Путилова И.В., Роголев Н.Д., Роганков М.П., Росляков П.В., Рябов Г.А., Седлов А.С., Тупов В.Б., Шищенко В.В. Природоохранные технологии на ТЭС. Учебник М.: Издательство МЭИ, 2021. — 452 с.

П.С. Аксёнов, студ.;
рук. Ю.А. Морыганова, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫВОЧНОЙ ВОДЫ НА ГЛУБИНУ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ ХЛОРИДНЫМИ НАТРИЕВЫМИ РАССОЛАМИ

Природные угли в настоящее время в большей степени используют в энергетической промышленности в качестве топлива, в металлургии в качестве кокса и сырья для переработки в другие продукты. Экономическая ценность углей определяется их физическими свойствами и показателями качества. Задачами исследования являются изменения таких параметров, как низшая теплота сгорания и зольность угля [1].

Процессы обогащения энергетических углей включают предварительные, основные и вспомогательные процессы. В качестве предварительных процессов используют операции, направленные на уменьшение размера исходного угля, а именно: дробление, грохочение, измельчение и классификация [2]. В качестве вспомогательных процессов применяют процессы промывки и осушки. Осушка предназначена для удаления влаги из концентрата обогащенного угля. Промывка направлена на удаление минеральных частиц, попавших в концентрат угля из тяжелой среды. В промышленности в качестве тяжелой среды для гравитационных тяжелосредных сепараторов применяют магнетитовую и водопесочную суспензии. Таким образом, процесс вспомогательной промывки направлен на удаление из концентрата обогащенного угля частиц магнетита и песка, которые при определении зольности рассматриваются в качестве минеральных негорючих примесей.

Был выполнен эксперимент по изучению влияния промывочной воды на технологические параметры угля, такие как зольность и низшая теплота сгорания.

В ходе эксперимента были получены данные, по которым сделан вывод, о том, что при использовании хлоридно-натриевых рассолов в качестве тяжелой среды для обогащения, самыми эффективными средами для промывки будут являться техническая и обессоленная вода. При использовании вышеперечисленных видов промывки низшая теплота сгорания увеличивается, а зольность при этом уменьшается, что характеризует рассмотренные процессы, как эффективные.

Литература

1. **Авдохин В.М.** Обогащение углей: учебник для вузов. Т. 1. Процессы и машины. М.: Изд-во Горная книга, 2012.
2. **Авдохин В.М.** Обогащение углей: учебник для вузов. Т. 2. Процессы и машины. М.: Изд-во Горная книга, 2012.

К.Ю. Смирнов, асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПОДМОСКОВНОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА С ЦЕЛЬЮ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГОЛЬНЫХ СМОЛ

Основываясь на данных [1] в углях буроугольной стадии углефикации содержится большое количество пека, смол и других веществ, способствующих слипанию частиц угля. По данной причине бурые угли используются в процессах окусковывания (получения брикетов, пелет и гранул) в отсутствие связующих веществ (в качестве связующих веществ в данных процессах выступают как раз угольные смолы и пек, кроме того, процесс брикетирования без связующих проводится в условиях повышенных давлений (порядка 100–250 МПа [1])). По сравнению с теми же каменными углями и антрацитами содержание в бурых углях смол и пека значительно выше.

По [2] угольные смолы являются базовым веществом для получения огнестойких жидкостей (ОЖ), применение которых позволяет обеспечить пожарную безопасность энергетических объектов (ЭО).

В современных мировых условиях одним из важных путей развития угольной генерации может стать направление переработки бурых углей с целью извлечения угольных смол, для дальнейшего их использования в рамках производства ОЖ. В связи с этим стоит обратить внимание на месторождения и бассейны бурых углей, которые по тем или иным причинам в настоящее время закрыты для разработки. В частности, на Подмосковский буроугольный бассейн.

Важнейшей проблемой для углей Подмосковского буроугольного бассейна являются высокие значения зольности (по [3] она составляет 24,6–35,8% на сухую массу). Без предварительной переработки высокая зольность будет негативно влиять на процесс выделения из состава перерабатываемого бурого угля угольных смол. Наиболее простым и эффективным решением для сокращения зольности в углях буроугольной стадии углефикации является применение процессов обогащения.

Литература

1. **Адылов Ч.А.** Утилизация отходов твёрдого топлива с помощью продуктов переработки биомассы. // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, Ош, 2017.
2. **Карташевич, А.Н.** Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учеб. пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, А.В. Гордеенко // Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2014. — 421 с.
3. Угольная база России. Том I. Угольные бассейны и месторождения европейской части России // М.: ЗАО «Геоинформмарк» 2000. — 483 с.

Е.Н. Егоров, асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВОК НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕГЕНЕРАЦИОННОГО РАСТВОРА НА-КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Na-катионитные фильтры в энергетике применяются для широко спектра задач [1], а именно подготовки добавочной воды для котельных и районных тепловых станций, для тепловых сетей, питания установок обессоливания и др. В качестве регенерационных растворов для Na-катионитных фильтров используют [1, 2]: техническую соль NaCl; природные подземные рассолы хлоридного натриевого состава; таблетированную поваренную соль; концентрат, полученный после установок обратного осмоса; продувочную воду испарителей; отходы химических производств, в виде подготовленных очищенных рассолов; морские воды и техническую поваренную соль в два этапа; доукреплённые повторно используемые регенерационные воды; доукреплённые воды раствором отмывочной воды после Na-катионитных фильтров; отработанные геотермальные охлаждённые воды.

Наибольшее распространение имеют регенерационные растворы на основе технической соли NaCl и природных подземных рассолов хлоридного натриевого состава [2]. При применении природных подземных хлоридных натриевых рассолов в качестве регенерационного раствора эффективность регенерации по сравнению с технической солью NaCl ниже. Причиной тому является наличие в рассолах повышенного содержания ионов жесткости [2]. На большинстве энергетических объектов, где в качестве регенерационных растворов применяют рассолы система их подготовки отсутствует [1, 2]. Автором предлагается в качестве метода уменьшения жесткости рассолов и, как следствие, повышения эффективности процесса регенерации Na-катионитных фильтров с их применением, использование метода нанофильтрации, показавшего в ходе экспериментов на реальных рассолах снижение жесткости в 3,5–4 раза при снижении общей минерализации на 20% и рабочем давлении до 20 бар.

Литература

1. **И.А. Бураков**, Разработка и обоснование рекомендаций по применению подземных природных рассолов для регенерации параллельноточных натрий-катионитных фильтров / И.А. Бураков, А.Ю. Бураков, И.С. Никитина, С.Д. Федорович, С.В. Аладушкин, А.С. Илюшин // «Новое в российской электроэнергетике». № 11. 2018. с. 15–24.
2. **I.A. Burakov**, «Comparison contemporary methods of regeneration sodium-cationic filters» / I.A. Burakov, A.Y. Burakov, I.S. Nikitina, A.E. Verkhovsky, A.S. Ilyushin, S.V. Aladushkin // IOP Conf. Series: Journal Of Physics: Conf. Series, 891 (2017) 012266.

А.О. Иванова, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ НА pH И УЭП В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВХР НА ТЭС

В настоящее время системы управления водно-химическим режимом не используются в автоматическом режиме, нарушения качества воды преимущественно регистрируются с использованием лабораторного химического контроля. Системы дозирования реагентов эксплуатируются вручную либо регулируются только по расходу обрабатываемой воды [1]. Для обеспечения минимизации отклонений концентраций реагентов от нормативных значений и для предотвращения аварийных ситуаций требуется разработка адаптивных систем управления [2].

Основной задачей экспериментов является изучение влияния возмущений (температура, расход и качественный состав рабочей среды) на показатели pH и УЭП для создания адаптивной системы автоматического управления водно-химическим режимом, поскольку в России отсутствуют в эксплуатации подобные системы.

На экспериментальной установке получены результаты моделирования основных возмущений химико-технологических процессов при дозировании аммиака в качестве корректирующего реагента. На основе полученных моделей разработана система управления дозированием корректирующих реагентов чувствительная к возмущениям и адаптивная под эти возмущения.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование и разработка устройств отбора пробы насыщенного и перегретого пара в системах химического контроля и управления водно-химическим режимом на энергообъектах нового поколения» Национального исследовательского университета «МЭИ» в рамках III очереди программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на период 2022–2024 гг.».

Литература

1. **O. Yegoshina, N. Bolshakova, S. Zvonareva**, “The State and Perspectives of Corrective Reagents Dosing Systems as the Cycle Chemistry Monitoring at Power Plants,” 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), 2022, P. 1–4, doi: 10.1109/Inforino53888.2022.9782961.
2. **V.N. Voronov, O.V. Yegoshina**, Experimental investigation of dynamic properties of chemical control analyzers Thermal Engineering (English translation of Teploenergetika), 2015, 62 (5), P. 370–373, A010.

Е.А. Безуглов, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ НА ТЭС

На современных тепловых электростанциях (ТЭС) сталкиваются с нарушениями норм качества теплоносителя энергоблоков, так как зачастую регулирование ввода аммиака происходит либо «на глаз», либо пропорционально расходу питательной воды. В данном исследовании представлены результаты моделирования работы адаптивной системы управления, спроектированной для улучшения стабильности и эффективности «химико-технологических процессов на ТЭС». Адаптивная система управления, основанная на оптимизационном алгоритме МГА [1], предлагает решение для динамической оптимизации параметров настроек АСР регулирования водно-химическим режимом в реальном времени.

Цель работы — оценка необходимости регулирования рН с помощью одноконтурной и адаптивной комбинированной АСР, выявление оптимального способа для практического использования на ТЭС.

Моделирование позволяет оценить влияние различных внешних возмущений, таких как изменение расхода питательной воды, влияние температуры и ионного состава обрабатываемой воды, на работу автоматической системы регулирования рН. Такой анализ обеспечивает не только оптимизацию, но и возможность автоматического режима управления текущих процессов для предотвращения возможных аварийных ситуаций [2]. Это обеспечит основу для дальнейших исследований и внедрения полученных наработок в энергетической отрасли, в контексте водно-химического режима на ТЭС.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование и разработка устройств отбора пробы насыщенного и перегретого пара в системах химического контроля и управления водно-химическим режимом на энергообъектах нового поколения» Национального исследовательского университета «МЭИ» в рамках III очереди программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на период 2022–2024 гг.

Литература

1. **Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И.** Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации в управлении // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.asuintegrator.ru/stat/exponenta.pdf> (Дата обращения: 27.11.2023).
2. **Ротач В.Я.** Метод многомерного сканирования в расчетах автоматических систем управления // Теплоэнергетика. №10. 2001. С. 33–38.

А.И. Горбунов, асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

На территории Российской Федерации по данным открытых источников имеется свыше 30 солёных озёр, с высоким содержанием минеральных примесей. Их общая минерализация варьируется от 43 до 360 г/дм³. Большинство озёр имеет хлоридный натриевый состав. Воды данных источников являются стратегическим ресурсом, который можно применять, как для реализации процессов гравитационного обогащения углей по технологии, аналогичной, технологиям, представленным в работах [1, 2], так и для регенерации Na-катионитных фильтров, аналогично применению природных подземных хлоридных натриевых рассолов.

Возможность использования высокоминерализованных вод солёных озёр в качестве тяжелой среды продиктована их повышенной плотностью (по указанной ранее общей минерализации плотность вод солёных озёр варьируется от 1033 кг/м³ до 1275 кг/м³). В работах [1, 2] показана возможность применения в качестве тяжёлой среды высокоминерализованных подземных вод плотностями 1160–1165 кг/м³ [1] и 1200–1300 кг/м³ [2] (природных подземных хлоридных натриевых рассолов и бишофита, соответственно).

Возможность использования высокоминерализованных вод солёных озёр в качестве регенерационных растворов для Na-катионитных фильтров продиктована их хлоридным натриевым составом. Однако, в виду повышенной плотности природных вод, перед непосредственным применением воды солёных озёр должны пройти предварительную подготовку, целью которой будет являться уменьшение показателя жёсткости и взвешенных веществ.

Применение высокоминерализованных вод природных источников на энергетических объектах рекомендуется рассматривать комплексно, ограничиваясь конкретными регионами РФ, где находятся озёра с высоким солесодержанием.

Литература

1. **Аунг Х.Н.** Разработка методов повышения эффективности получения экологически чистого топлива на основе переработки твёрдого топлива для условий Мьянмы // Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, НИУ «МЭИ», 2023.
2. **Йе В.А.** Исследование эффективности применения процессов энерготехнологической переработки твёрдого топлива для его дальнейшего использования на тепловых электрических станциях в условиях Мьянмы // Дисс. ... канд. техн. наук. Москва, НИУ «МЭИ», 2023.

С.К. Лукутина асп.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ПАРА ПО ДЛИНЕ УСТРОЙСТВ ОТБОРА ПАРА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Известно, что основным требованием обеспечения представительности отобранной пробы является поддержание скорости пара в пробоотборном устройстве равной скорости потока в основном паропроводе [1]. Авторами данной работы показано, что отбор насыщенного пара типовыми пробоотборными устройствами, изготовленными в соответствии с [1, 2], не является изокINETическим. В аналогах наблюдаются экстремумы скорости потока пара в пробоотборной трубке на расстоянии $2d$ мм от входного сечения конструкции, что соответствует повороту на 90° в устройствах — изокINETического отбора пробы нет. Поэтому разработана новая конструкция устройства отбора пара, которая позволяет обеспечить равенство скоростей потока в устройстве и основном паропроводе.

В программном комплексе Ansys CFX смоделирован процесс отбора пробы насыщенного пара типовыми пробоотборными устройствами, спроектированными по [1, 2] и новой конструкции. Поток насыщенного пара поступал во входное сечение УОП со скоростью 12 м/с. Представлены результаты влияния конструкции устройства по длине на скорость пара, выполнен сравнительный анализ скоростей пара в различных конструкциях. Объектом исследования является насыщенный пар с параметрами 16,2 МПа и 35 °С. Исследуемое расстояние — 10 диаметров пробоотборной трубки ($10d$). Получено, что скорость насыщенного пара в новой конструкции имеет незначительные отклонения относительно скорости в основном паропроводе, поэтому отбор пробы можно считать изокINETическим.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование и разработка устройств отбора пробы насыщенного и перегретого пара в системах химического контроля и управления водно-химическим режимом на энергообъектах нового поколения» Национального исследовательского университета «МЭИ» в рамках III очереди программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на период 2022–2024 гг.».

Литература

1. **Alto, Calif.** TR-100196, Development of a Steam Sampling System», EPRI, Palo Dec. 1991
2. **РД 24.031.121-2012.** указания Оснащение паровых стационарных котлов устройствами для отбора проб пара и воды.

И.В. Мироненко, асп.; рук. В.Ф. Очков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ОСВЕТИТЕЛЯХ-ОТСТОЙНИКАХ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД НА ТЭС

В связи с известными ограничениями при использовании определенных программных расчетных комплексов появилась насущная необходимость в разработке альтернативных решений.

С целью создания нового научного подхода в области моделирования, используем нейросеть для автоматизации сбора и обработки данных научного эксперимента с последующей генерацией прогноза построенной на иных принципах обработки больших массивов данных (BIG DATA).

Одним из перспективных подходов является разработка схем итероперерабельности между результатами фактического учета физических параметров предмета исследования и математической модели.

Темой исследования было выбрано моделирование сложных процессов осаждения нерастворённых примесей при очистке сточных вод в осветлителях-отстойниках ТЭЦ. Особенно актуально моделирование систем водоподготовки для существующих и планируемых ТЭЦ. Направление исследования сфокусировано на решениях физико-математических моделей для низкобюджетных пассивных систем осаждения осадка без применения химически активных веществ.

Предложение данного исследования: разработка обучаемой нейросети, которая самостоятельно моделирует осаждение нерастворенных примесей при очистке сточных вод. Помимо решения общепринятых математических моделей, нейросеть вносит дополнительные возможности сопоставления архивных статических данных по степени их важности, веса в сочетании с прогнозируемыми значениями.

Литература

1. **Очков В.Ф., Орлов К.А., Чудова Ю.В.** Информационные технологии в инженерных расчетах. SMath и Python. С.-П.: Лань, 2023.
2. **Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.** Водоподготовка в энергетике: уч. пособ. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
3. **Вайгент А.** BIG DATA. Вся технология в одной книге. М.: Эксмо, 2018.
4. **Mokhtari S., Abbaspour A., Yen K.K., Sargolzaei A.,** A machine learning approach for anomaly detection in industrial control systems based on measurement data // Electronics. 2021. V. 10. No. 4. P. 407. DOI: 10.3390/electronics10040407

М.Д. Григорьев, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТБОРА НАСЫЩЕННОГО ПАРА С ПОМОЩЬЮ ЩЕЛЕВОГО УСТРОЙСТВА ОТБОРА ПРОБЫ

Устройства отбора пробы предназначены для отбора пара и воды для лабораторного химического контроля и на приборы автоматического химического контроля [1]. От этих устройств зависит будет ли проба соответствовать той среде, из которой производится отбор. Основными требованиями являются обеспечение постоянства температуры, давления и скорости потока среды по длине устройства отбора. Если эти параметры будут различаться у отбираемой пробы и среды отбора, будет невозможно получить достоверную информацию о качестве пара или воды, что приведет к непредставительному контролю водного химического режима и работы тепловой электростанции в целом [2].

Имеется документ по оснащению паровых стационарных котлов [1], который не обновлялся. По этой причине было проведено данное исследование для актуализации приведенной информации.

Цель работы — выполнить численное моделирование отбора насыщенного пара с давлением 16,2 МПа и температурой 348 °С, с помощью щелевого устройства отбора пробы.

Было смоделировано два устройства, рекомендуемые руководящим документом для отбора пробы насыщенного пара [1], щелевое и однонососковое. Результаты моделирования показали несовершенство данных устройств. В обоих устройствах наблюдаются завихрения вблизи отверстий отбора пробы, что критически влияет на скорость, температуру и давление отбираемого насыщенного пара.

Было разработано модернизированное устройство, которое при моделировании показывает изокинетичность потока отбираемой пробы. Данное устройство можно рекомендовать к использованию на тепловых электростанциях для отбора пробы насыщенного пара.

Литература

1. РД 24.031.121-2012, Оснащение паровых стационарных котлов устройствами для отбора проб пара и воды: ОАО «НПО ЦКТИ», 2012. — С 1–5.
2. Лукутина С.К., Егошина О.В. Исследование влияния давления на представительность пробы при отборе пара различными типами пробоотборных устройств // Всероссийская конференция «XXXVIII Сибирский теплофизический семинар», 2022.

В.Н. Русяев, студ.; рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ХИМИЧЕСКИЕ ПРОМЫВКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Для обеспечения продолжительной и надежной эксплуатации котельного оборудования необходимо проводить химические очистки внутренних поверхностей нагрева. Химические очистки предназначены для удаления с внутренней поверхности котла (теплообменника) отложений, окислов, рыхлой ржавчины и так далее. Состав и количество отложений зависят от типа оборудования, параметров его работы, качества теплоносителя, условий эксплуатации.

Основная задача при проведении химических очисток — перевести труднорастворимые соединения, находящиеся на поверхности металла, в растворимые соединения без повреждения поверхностей нагрева [1].

За последнее время методы химических очисток претерпели изменения. Прежде всего, появились различные реагенты, уточнялись концентрации и компоненты промывочных смесей, температурные режимы [2].

В данной работе проведено сравнение эффективности кислотных растворов по удалению внутритрубных отложений. В экспериментах использованы образцы труб водогрейных котлов предприятий малой энергетики. В результате было выяснено, что сочетание лимонной и соляной кислоты эффективней всего оказывает влияние на удаление с поверхности нагрева труб на железистоокисные и отложения солей жесткости.

Литература

1. **Петрова, Т.И., Воронов В.Н., Дяченко Ф.В.** Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций. М.: Издательство МЭИ, 2021.
2. **Маргулова Т.Х.** Химические очистки теплоэнергетического оборудования. М.: Энергия, 1969.

Секция 48

СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Operation schemes and regimes of thermal power plants

Председатель секции: к.т.н., доцент Дудолин Алексей Анатольевич

Секретарь секции: к.т.н. Крашенинников Сергей Михайлович

Е.Н. Никулина, асп.; рук. Е.А. Ларин, к.т.н., проф. (СГТУ, Саратов)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Использование топливных элементов, работающих по принципу прямого преобразования энергии, для усовершенствования тепловых электростанций является одним из перспективных направлений создания альтернативных источников энергии. Топливный элемент — это электрохимическое устройство, использующее водород, углеводородное топливо (жидкость, газ) и кислород для производства энергии.

Цель работы: Изучение возможностей и оценка эффективности использования твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) в комбинированных теплоэнергетических установках с целью повышения их термодинамической, топливной и системной эффективности и надежности.

В докладе рассмотрены цель и задачи анализа энергетической эффективности ТОТЭ, исследование технических аспектов применения ТОТЭ, оценка экономической целесообразности и экологические аспекты создания комбинированных теплоэнергетических установок на их основе.

Разработаны принципиальные технологические схемы комбинированных ТЭУ на базе ТОТЭ и методы расчета их термодинамической эффективности. Предварительными исследованиями установлено, что КПД гибридных энергетических установок достигает 75%, а общий КПД использования химической энергии установок с использованием топливных элементов может достигать 95%.

Разработанные расчетно-теоретические исследования комбинированных ТЭУ на базе твердооксидных топливных элементов указывают на большой потенциал их использования на различных энергетических системах [1].

Литература

1. **Никулина Е.Н., Ларин Е.А.** — Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. по материалам XVI Междунар. науч. техн. конф. «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов». — Саратов, 11–13 октября 2022 г. — Вып. 11. — Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2022. — 151–161 с.

Е.В. Курьянова, асп.;
рук. М.С. Иваницкий, доц., д.т.н. (ВФ МЭИ, г. Волжский)

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СУБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: ПРОИЗВОДСТВО И ТРАНСПОРТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

Развитие и совершенствование темпов роста отечественной электроэнергетической отрасли должно сопровождать разработкой и внедрением новых подходов к оценке уровней безопасности и экономичной работы оборудования генерирующих систем. В настоящее время достижение такого эффекта возможно посредством создания современных цифровых систем, позволяющих в режиме реального времени осуществлять контроль, оценку текущего технического состояния энергетического оборудования и прогнозирование изменения его параметров во времени [1].

В работе созданы алгоритмы расчета и прогнозирования уровня безопасности и экономической эффективности для генерирующих объектов при производстве электрической и тепловой энергии. Полученные результаты могут быть использованы энергетическими предприятиями при разработке и реализации концепции цифровой трансформации технологического процесса.

Результаты выполненного исследования рекомендуется использовать для комплексного обоснования и внедрения цифровых платформ сбора, хранения и передачи данных о текущем состоянии тепло- и электроэнергетических объектов с целью расчета и прогнозирования уровня их безопасности и экономической эффективности в процессах производства и передачи электрической и тепловой энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF- 2020-0025 “Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий” на оборудовании Центра коллективного пользования «Испытательный полигон технологий транспортировки электроэнергетики и распределенных интеллектуальных энергосистем» НТИ МЭИ.

Литература

1. Султанов М.М., Шамигулов П.В., Болдырев И.А., Курьянова Е.В. Методика оценки уровней безопасности энергоблоков ТЭС // Новое в российской электроэнергетике. 2023. № 9. С. 17–30.

Н.В. Чазов, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ

В современных городах, системы централизованного теплоснабжения имеют значительную протяженность, достигающую сотен километров. В этих условиях могут возникать повреждения и значительные утечки теплоносителя. Для сохранения расхода сетевой воды производится непрерывная подпитка теплотрассы. Тепловые нагрузки теплотрассы, а значит и расходы сетевой воды меняются в зависимости от сезонов года. В связи с этим возникает необходимость обеспечения работы систем водоподготовки в широком диапазоне нагрузок и параметров сетевой воды.

Целью исследования является анализ существующих систем подпитки теплотрассы и определение направлений их совершенствования и их модернизации с целью снятия ограничений и повышения эффективности работы ТЭЦ. На рис. 1 представлены существующая и предлагаемая схемы подпитки теплотрассы.

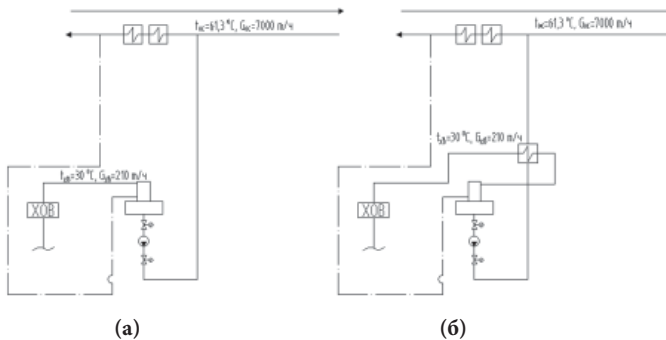


Рис. 1. Существующие (а) и предлагаемая схема (б) включения подпитки

По существующей схеме подпиточная вода с температурой деаэрации поступает на вход в сетевые подогреватели, что приводит к росту температуры сетевой воды в входе в ПСГ и снижению выработки на тепловом потреблении. Если часть подпиточной воды направляется в накопитель, то происходит ее остывание, при этом часть тепловой энергии теряется.

Для повышения эффективности предлагается осуществлять предварительный подогрев умягченной воды после ХВО, идущей на деаэрацию, при этом греющей средой выступает вода подпитки теплотрассы после деаэрации.

Расчетные исследования показали, что при величине подпитки 3% [1] при использовании модернизированной схемы происходит снижение удельных расходов топлива на отпуск электроэнергии на 0,418 г у.т./кВтч.

Литература

1. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети.

А.А. Константинов, асп.;
рук. М.М. Султанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЭС ПО КРИТЕРИЯМ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

В настоящее время эффективность ТЭС на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ) в большей степени определяется уровнем удельных расходов условного топлива на единицу производимой энергии (УРУТ). С другой стороны, в течение всего периода эксплуатации без проведения ремонтов надежность энергоблока монотонно снижается. С учетом того, что режимные параметры энергетического оборудования в определяющей степени зависят от нагрузки, наиболее перспективным способом повышения эффективности работы ТЭС является оптимальное распределение нагрузки. Однако существующие способы решения данной задачи не позволяют учитывать параметры надежности работы оборудования [1, 2].

В общем случае произвольная ТЭС может быть представлена в виде некоторого количества независимых и виртуальных энергоблоков, где энергоблок представляет собой пару котел-турбина. Пуская для каждого энергоблока известны уравнения регрессии $B_i(P_i, Q_i)$ и $Z_i(P_i, Q_i)$ характеризующие расход условного топлива B_i и надежность работы энергоблока Z_i при заданных тепловой Q_i и электрической P_i нагрузке. Тогда для станции с N энергоблоками целевые функции оптимизации сформируются следующим образом:

$$\begin{cases} B_{\text{ст}}(\vec{P}, \vec{Q}) = \sum_{i=1}^N B_i(P_i, Q_i) \rightarrow \min \\ Z_{\text{ст}}(\vec{P}, \vec{Q}) = \sum_{i=1}^N Z_i(P_i, Q_i) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (1)$$

Применение разработанного алгоритма позволит ТЭС своевременно адаптироваться под изменяющиеся условия, что в конечном итоге повысит степень ее конкурентоспособности.

Литература

1. Аракелян Э.К., Пикина Г.А. Оптимизация и оптимальное управление: Учеб. пособие / Э.К. Аракелян, Г.А. Пикина. — М.: Изд-во МЭИ, 2003. — 356 с.
2. Цыпулев Д.Ю. Методические положения оптимального управления режимами ТЭЦ со сложным составом оборудования / Д.Ю. Цыпулев, Э.К. Аракелян, В. Макарян // Теплоэнергетика. — 2008. — № 3. — С. 67–74.

К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ

Традиционно контроль технического состояния основного и вспомогательного энергетического оборудования на тепловых электростанциях происходит путем оперативного диагностирования и диагностирования при ремонтах и регламентных проверках [1]. Одним из перспективных направлений в сфере обслуживания энергетического оборудования является предиктивная аналитика, которая решает задачи обнаружения, локализации и идентификации неисправностей путем интеллектуального анализа данных посредством статистических моделей. Для более обоснованного определения технического состояния энергетического оборудования целесообразно также рассмотреть применение матричных моделей энергетического оборудования. Целью данного исследования является разработка математической модели системы регенерации паровой турбины, которая позволит определить техническое состояние вспомогательного теплообменного оборудования.

В соответствии с поставленной целью на первом этапе исследования была разработана математическая модель системы регенерации, основу которой составляют матричные модели теплопередачи [2], записанные для каждого подогревателя высокого давления. Для проверки адекватности предложенной модели системы регенерации паровой турбины были использованы данные архива АСУ ТП турбоустановки Т-250/300-240. Проведенный статистический анализ полученных результатов моделирования показал, что модель признана адекватной, так как она позволяет с относительной погрешностью в 4.2% определить температуры холодного теплоносителя на выходе из подогревателей высокого давления во всем рассматриваемом диапазоне изменения электрической нагрузки и давления пара в камере теплофикационного отбора.

Разработанная математическая модель системы регенерации может быть использована для мониторинга технического состояния действующего энергетического оборудования в условиях его эксплуатации.

Литература

1. Технические средства диагностирования: Справочник / Ключев В.В. и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
2. **Жуков В.П., Барочкин Е.В.** Системный анализ энергетических тепло-массообменных установок. — Иваново, 2009. — 176 с.

Н.М. Певницкий, студ.;
рук. Д.В. Горбуров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПОНОВКА ПОВЕРХНОСТИ ПРОМПЕРЕГРЕВА В КОТЛАХ УТИЛИЗАТОРАХ

В настоящее время при проектировании КУ бинарного цикла ПГУ [1] целесообразно использовать промежуточный перегрев пара для повышения эффективности работы паровой турбины. В данной работе рассмотрен вопрос расположения поверхности теплообмена ПП в КУ, варианты компоновки представлены на рисунке 1.

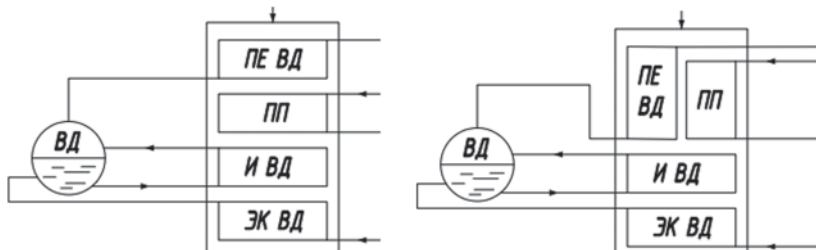


Рис. 1. Схемы компоновок КУ, последовательная и параллельная

Поверхность промежуточного перегрева возможно расположить либо после перегревателя пара высокого давления, либо совмещенно с перегревателем. Для определения эффективности был проведен расчет по оригинальной методике на основании источника [2]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов

	Последовательная компоновка КУ				Тепловой поток, МВт	Параллельная компоновка КУ				Тепловой поток, МВт	
	Темп. дым. газов, °С		Темп. раб. среды, °С			Темп. дым. газов, °С		Темп. раб. среды, °С			
	На входе	На выходе	На входе	На выходе		На входе	На выходе	На входе	На выходе		
ПЕВД	617.7	503.5	313.18	587.7	85.81	ПЕВД+ПП	617.7	481	313.18	587.7	75.1+27.3
ПП	503.5	491.6	450.52	487.5	8.796	-	-	-	-	-	-
ИСВД	491.6	321.18	313.18	313.18	132.2	ИСВД	481	321.18	313.18	313.18	115.6

Критерием оценки эффективности является потребляемый тепловой поток поверхностью промежуточного перегрева. На основании полученных данных можно сделать вывод, что использование параллельной схемы является более предпочтительным, т.к. теплосъём с ПП-поверхности увеличится в три раза, повышая экономичность блока ПГУ.

Литература

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебник для вузов / А.Д. Трухний — М.: Издательский дом МЭИ. 2017.
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых станций М.: Издательство МЭИ. 2002.

*Н.А. Татарникова, В.А. Варигина,
Д.К. Еремин, студенты; А.Б. Ондар, асп.;
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОРИСТЫХ РЕЗИНОВЫХ ШАРИКОВ

Пористые резиновые шарики (ПРШ) систем шариковой очистки (СШО) конденсаторных трубок представляют собой сферообразные тела из пористой резины без поверхностной плёнки. Для эффективной работы систем шариковой очистки необходимо, чтобы показатели свойств шариков соответствовали нормированным значениям. Основными свойствами являются: размер (мм), масса (г), кажущаяся плотность (кг/м^3), долговечность (ч), водопогружаемость, скорость погружения (см/с), износостойкость (мм/ч или г/ч).

ПРШ по твердости подразделяются на шесть групп. Тип шарика по твердости выбирается в зависимости от гидравлического сопротивления трубок одного хода. Диаметр шарика должен превышать на 1–2 мм внутренний диаметр конденсаторных трубок.

В ОАО «ВТИ» разработана система входного контроля ПРШ, предназначенная для исследования износостойкости пористых резиновых шариков. Сущность метода заключается в сравнительной оценке степени истирания образцов шариков при их циркуляции по контуру вместе с потоком воды внутри трубок с шероховатой поверхностью.

Установка представляет собой контур циркуляции, состоящий из: двух трубок диаметром 24х2 мм и длиной 5000 мм, поворотной трубы диаметром 48х4 мм, элеватора, грузозачного устройства, центробежного насоса. Для подсчета количества циклов выбран фотоэлектрический датчик, работающий в автоматическом режиме.

Результаты исследований позволят повысить эффективность работы предприятий тепло- и электроэнергетики, промышленных предприятий, в ведении которых находятся теплообменные аппараты, оснащённые СШО, а также смогут применяться производителями ПРШ для управления и контроля качества продукции.

Литература

1. А.Г. Герасимова, А.В. Мальгин, Ю.Н. Александр, Е.Н. Криксина / Определение необходимых условий эффективной работы системы шариковой очистки трубок конденсаторов паровой турбины. Часть 1 // ЭНЕРГЕТИКА. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕДИНЕНИЙ СНГ. — 2017. — Т. 60, № 2. — С. 167–175. — ISSN 1029-7448.

А.С. Красичков, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ПГУ-230, ПГУ-470 ЗА СЧЕТ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА ПЕРЕД ГТУ

Санкционные ограничения, с которыми столкнулся топливно-энергетический комплекс РФ, вынудили пересмотреть подход к выбору основного генерирующего оборудования при проектировании новых ТЭС от иностранных газовых турбин в сторону отечественных разработок. Одной из российских разработок является газовая турбина (ГТ) ГТЭ-170.1 производства АО «Силловые машины».

В данной работе производится оценка повышения мощности ПГУ на базе ГТЭ-170.1 за счет подогрева топлива перед подачей его в камеру сгорания, отборами теплоносителя из котла утилизатора (КУ).

Моделирование производилось для двухконтурных конденсационных блоков ПГУ с КУ (ПГУ-230 и ПГУ-470) на базе ГТЭ-170.1. Подогрев топливного газа на входе в камеру сгорания производился до максимально допустимой температуры заводом-изготовителем — 130 °С. Рассмотрены два варианта подачи топлива на ТЭС: от магистрального газопровода, с использованием дожимного компрессора. Для каждого варианта смоделированы следующие схемные решения с предварительным подогрев топлива: отбор теплоносителя из контура высокого давления КУ (Схема 1); отбор теплоносителя из контура низкого давления КУ (Схема 2); отбор теплоносителя из паропровода собственных нужд (Схема 3).

В результате установлено: подогрев топлива повышает мощность ГТУ и приводит к росту показателей тепловой экономичности для обоих рассмотренных блоков ПГУ. Так прирост КПД (нетто) составил: для блока ПГУ-450 — 0.1% (Схема 1 с ДК), для блока ПГУ-270 — 0.08% (Схема 2 с ДК). Дальнейшее повышение показателей тепловой экономичности требует дополнительного исследования камеры сгорания (КС) ГТУ на предмет повышения верхнего предела температуры топлива на входе в КС ГТУ.

Финансово экономический эффект от применения данных схем зависит от множества факторов и его оценку требуется провести дополнительно.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С.**, Газотурбинные энергетические установки; под ред. Цанева С.В — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с.: ил.
2. **Буров В.Д., Красичков А.С.**, Влияние подогрева топлива на входе в газотурбинную установку на показатели тепловой экономичности парогазовых установок // Новое в российской электроэнергетике. — 2022 г. — № 9 — С. 25–32.

М.А. Михайлин, студ.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГТУ ИРАНСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

После марта 2022г. поставка зарубежных энергетических ГТУ в РФ из большинства стран практически невозможна, а ГТУ российского производства ещё не готовы для широкого применения. Одним из возможных решений является применение в российской энергетике ГТУ из дружественных стран, в т. ч. из Ирана. Первые ГТУ иранского производства устанавливаются на ТЭС «Ударная» в Краснодарском крае. Сегодня компания «MAPNA» производит 4 типоразмера ГТУ. [1]

Газовая турбина MGT-30 представляет из себя модернизированную авиационную турбину, которая за счёт своей гибкости и надёжности может использоваться для выработки электроэнергии и обеспечивает номинальную выходную мощность в 25 МВт и электрический КПД 35,9%.

Газовая турбина MGT-40 представляет собой газовую турбину, разработанную исключительно для обеспечения прочной и надёжной работы в различных областях применения: для производства электроэнергии в простом и комбинированном цикле и обеспечивает номинальную выходную мощность в 42,2 МВт и общий КПД 32,2%.

Газовая турбина большой мощности MGT-70 является модернизированной версией турбины V94.2 компании Siemens. В частности, усовершенствована механическая конструкция, более эффективная камера сгорания, модернизирована система охлаждения турбины, улучшена аэродинамика проточной части. Номинальная выходная мощность ГТУ 185 МВт и электрический КПД 36,3%.

Усовершенствованная газовая турбина большой мощности MGT-80 с лицензией Siemens technology на газовую турбину SGT5-4000F обеспечивает значительно более высокую номинальную выходную мощность в 308 МВт и электрический КПД до 40,1%. КПД ПТУ на базе этой ГТУ может достигать 60%.

На основании вышеизложенного, становится понятно, что стране необходимо искать альтернативные способы для удовлетворения своих энергетических потребностей. Установка газовых турбин иранского производства, таких как MGT-30, MGT-40, MGT-70 и MGT-80, представляет из себя перспективное решение, которое обеспечит надёжность и доступность энергетического оборудования.

Литература

1. **MAPNA GROUP TUGA:** официальный сайт. — Иран. — URL: <https://www.mapnaturbine.com/en> (дата обращения 10.10.2023).

М.С. Соколова, соиск.;
рук. Е.Г. Нешпоренко (МГТУ, Магнитогорск)

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время более 90% промышленных предприятий имеют собственные источники и системы теплоснабжения — водяные и паровые [1]. Как правило, нагрузка промышленных систем теплоснабжения включает в себя нагрузку на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение. Технологическая нагрузка чаще обеспечивается паровыми сетями. По сложившейся практике и в соответствии с Федеральным законом [2] включение, отключение и регулирование системы теплоснабжения осуществляется в соответствии с температурой окружающей среды. На крупных предприятиях по году системы теплоснабжения изменяются, как по гидравлике, так и по тепловой мощности, подключаются или отключаются новые абоненты. В связи с этим ежегодно составляются или обновляются температурные графики регулирования тепловой сети.

Известно, что теплоэнергетическое оборудование обладает тепловой инерцией в соответствии с физическими природными законами. Поэтому требуется прогнозирование параметров системы теплоснабжения (давление, расход, температура) на следующие сутки для сбережения тепловой энергии. Имеющиеся модели прогнозирования построены либо на статистической обработке накопленного массива данных за прошлые отопительные периоды, либо рассчитываются на основании теплового графика. Однако такие модели не могут учесть вносимые изменения в структуру тепловой сети в течение действующего отопительного периода (новые абоненты, аварии, плановые работы). Нейросетевые модели прогнозирования также не обеспечивают заданной точности вычисления.

В работе предложен алгоритм прогнозирования параметров системы теплоснабжения (давление, расход, температура) на следующие сутки на основе температуры наружного воздуха и короткого периода (5–7 дней) базы данных, снятых с датчиков. Построена линейная регрессия с оценкой отклонения по ближайшей температуре наружного воздуха из исследуемого диапазона. Экспериментальные данные показывают сходимость планируемых показателей от фактических на уровне 2–3%.

Литература

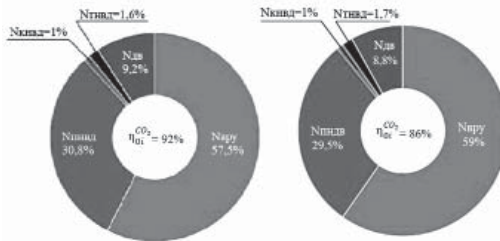
1. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. М.: Москва, Энергоиздат, 1982. 360 с.
2. **Федеральный закон от 27 июля 2010 г. N 190-ФЗ «О теплоснабжении».**

*Е.М. Корепанова, студ.; рук. П.А. Щинников, д.т.н., профессор
(НГТУ, Новосибирск)*

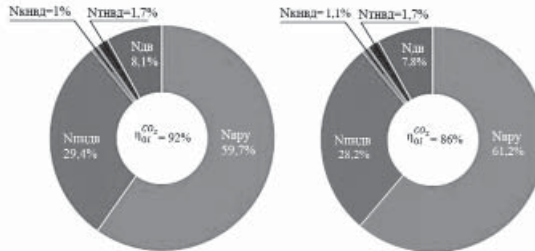
ВЛИЯНИЕ КПД CO_2 -ТУРБИНЫ НА СТРУКТУРУ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД В БЕССКОМПРЕССОРНЫХ ЦИКЛАХ

Безуглеродные технологии [1] рассматриваются, как один из вариантов развития современной энергетики без вреда окружающей среде.

Рассмотрены два безуглеродных цикла: с одноступенчатым повышением давления и конденсацией, представленный ОИВТ РАН, и с одноступенчатым повышением давления насосом, представленный НГТУ.



(а) Одноступенчатое повышение давления насосом (НГТУ)



(б) Одноступенчатое повышение давления с конденсацией (ОИВТ)

Рис. 1. Влияние КПД CO_2 -турбины на структуру затрат электроэнергии собственных нужд в бескомпрессорных циклах

Наименьшие суммарные затраты энергии на собственные нужды принадлежат CO_2 -установке с одноступенчатым повышением давления и конденсацией (рис. 1, б), где $N_{\text{сн}} = 20,62$ МВт, при значении внутреннего относительного КПД CO_2 -турбины 92%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-29-00035, <https://rscf.ru/project/23-29-00035/>

Литература

1. Влияние термодинамических параметров на энергетические характеристики CO_2 -циклов при кислородном сжигании метана / Алексеев С.В., Щинников П.А., Садкин И.С. // Теплофизика и аэромеханика. 2023. Т. 30. № 1. С. 89–98.

Цзиньфа Го, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ГАЗОПОРШНЕВЫЕ УСТАНОВКИ КОМПАНИИ JICHAI

Уход европейских и американских производителей газопоршневых установок с российского рынка создал серьезные сложности для основных заказчиков данного оборудования, но и уникальные возможности для производителей оборудования из Китая.

CNPC Jichai Power Company Ltd. Входит в число крупнейших промышленных компаний Китая. Основным направлением её деятельности является производство двигателей внутреннего сгорания мощностью от 200 до 6300 кВт и компрессорного оборудования. Продукция Jichai широко используется в энергетике, нефтегазовой и химической промышленности, судостроении и поставляется более чем в 60 стран мира. Технические характеристики модулей газопоршневых установок Jichai для российского рынка приведены в табл. [1].

Табл. Технические характеристики газопоршневых установок Jichai

Серия	Модель ГПУ	Модель двигателя	Модель генератора	Мощность, кВт
140	300GF30-T	JC15D/T	XN5C	300
2000	500GF-T3	G12V190ZLDT-2	1FC	500
4000	1200GF-T	L12V200ZLT-2	GPL1200	1200
	200GF10-T	L20V190ZL	JFG	2000
6000	1100GF-T	H16V190ZLT-2	по проекту	1100
	100GF1-T	H16V190ZLT-2	JFG	1100
2630	3000GF-T	12V26/32T	по проекту	3000
	4000GF-T	16V26/32T	по проекту	4000

Первым крупным объектом, на котором будут работать ГПУ Jichai, станет Черногорская ТЭЦ, строительство которой ведет группа «Интертехэлектро» (ИТЭ). Электростанция мощностью 96 МВт обеспечит энергией производственные объекты будущего горно-обогатительного комплекса на базе Черногорского месторождения медно-никелевых руд. Всего на ТЭЦ будут смонтированы 24 ГПУ 4000GF-T мощностью по 4 МВт.

В марте 2023 года компании ИТЭ и Jichai заключили соглашение, в котором определялись основные направления и принципы сотрудничества в сфере использования и продвижения продукции Jichai в России [2].

В сентябре 2023 года, в рамках III Курганского индустриального фестиваля, ИТЭ и Jichai заключили соглашение о совместной деятельности по локализации оборудования китайской компании в России [2].

Литература

1. Сигидов Я.Ю. Газопоршневые установки Jichai для российского рынка // Турбины и Дизели. 2023, № 3. — С. 56–59.
2. Сигидов Я.Ю. Газопоршневые установки компании CNPC Jichai будут собирать в России // Турбины и Дизели. 2023, № 5. — С. 58–61.

Д.В. Сидоров, студ.; рук. А.А. Дудолин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С ТРИГЕНЕРАЦИЕЙ НА ПРИМЕРЕ УМНОГО ГОРОДА “СБЕРСИТИ”

Поиск новых более перспективных технических решений и методик по производству электрической и тепловой энергии, позволяющих снизить удельные затраты топлива, тепловые потери, негативное воздействие на окружающую среду, всегда было и остается актуальной задачей для исследователя. А возросшие в последние десятилетия нагрузки на системы холодоснабжения, ставят перед исследователями новые задачи по поиску все тех же технических решений и методик, удовлетворяющих спрос потребителя и снижения все тех же удельных затрат топлива, тепловых потерь и негативного воздействия на окружающую среду. Эти и другие вопросы можно отнести к разряду энергоэффективности и полезного использования.

Методические допущения

Расчет тепловых и холодильных нагрузок должен выполняться с учетом ряда методических допущений, позволяющих моделировать сложные физические процессы тепломассопереноса с требуемой достоверностью и дискретностью, не перегружая при этом расчетные модели избыточными вычислениями и результатами. Основные методические допущения [1]:

1. Воздух в расчетной зоне рассматривается идеально перемешанным с одинаковой температурой по всей рассматриваемой зоне. Многочисленные исследования [2] показывают, что это допущение обеспечивает достоверные результаты моделирования в широком диапазоне температурных условий;
2. Ограждающие конструкции рассматриваемого помещения (стены, окна, пол и т.д.) имеют равномерную температуру теплообменной поверхности;
3. В рамках одной расчетной поверхности отсутствуют градиенты полей длинноволнового (ДВ) и коротковолнового (КВ) излучений;
4. Элементы ограждающих конструкций имеют однородную теплопроводность, то есть не учитывается наличие полостей, арматуры и т.д.

Моделирование нагрузок холодоснабжения

На рисунке 1 и 2 представлены почасовые составляющие теплового баланса и интегральная холод.нагрузка одного из объектов СберСити, на примере квартала А24 в летний период в стационарном установившемся режиме при температуре наружного воздуха +25,0°C. Расчет кондиционирования проводился для помещений ритейла и узла связи (с учетом теплопоступлений).

Как видно из рисунков, в летний период все составляющие теплового баланса объекта имеют положительную величину, что в свою очередь определяет необходимость теплосъема (кондиционирования) для поддержания температуры в заданном диапазоне. На объекте исследования основными ограждающими эле-

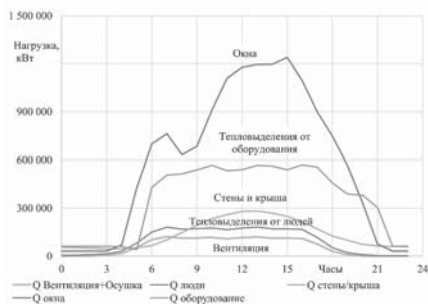


Рис. 1. Почасовые составляющие теплового баланса в летний период при +25,0°C

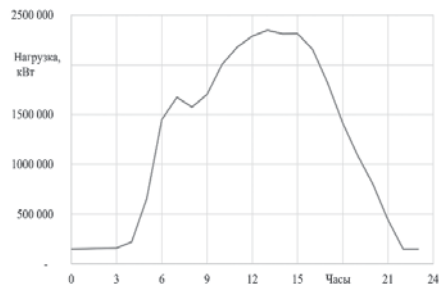


Рис. 2. Интегральная холодильная нагрузка в летний период при +25,0°C

ментами являются светопрозрачные конструкции, через которые происходит максимальное теплопоступление внутрь здания за счет инсоляции. Пик теплопритоков от солнца для заданной архитектуры здания наблюдается в 15:00 и далее спадает до значений, близких к нулевым. Второй по величине статьей теплопоступлений являются выделения тепла при работе оборудования внутри здания. Теплопритоки через непрозрачные ограждающие конструкции (стены и кровлю) связаны с нагревом наружной поверхности в результате солнечного излучения и поэтому имеют максимум с 13:00 до 14:00. Поступления тепла от людей и с приточным воздухом вносят наименьший вклад в летний тепловой баланс здания, который в сумме составляет порядка 320 кВт.

Работа системы кондиционирования в основном осуществляется в летний период, максимальное потребление и пики характерны в июне, июле, кратковременно в августе. Основное влияние на нагрузку по холоду оказывает облачность и плотность теплового потока от солнечного излучения в расчетный день и час года. Общий объем производства холода за расчетный год на квартале A24 составил 2551 Гкал.

Выводы

Таким образом, можно выделить две основные составляющие теплопритоков в летний период года: инсоляция от светопрозрачных конструкций и работа оборудования. Учитывая современную тенденцию строительства жилых и коммерческих комплексов, со значительным объемом светопрозрачных конструкций,

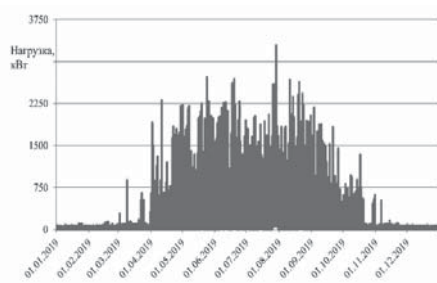


Рис. 3. График потребления холода кварталом A24 за 2019 год

а также развитие технологий и оборудования объектов, нагрузка на системы холодоснабжения будет только возрастать.

В условиях роста тарифного плана на электроэнергию, при наличии на объектах генерации, как это видно на примере комплекса СберСити, газовых котлен, имея значительную нагрузку по холоду, наиболее эффективная компоновка и состав оборудования энергоцентра будет на базе абсорбционных холодильных машин (АБХМ). Операционная составляющая тарифа в этом варианте будет существенно ниже по отношению к выработке такого же количества холода посредством парокомпрессионных холодильных машин (ПКХМ).

Литература

1. The ASHRAE Handbook т. 18: Nonresidential cooling and heating load calculations [Текст] — изд-во «ASHRAE», 2009. 62 С.
2. **Fisher D.E.** Convective Energy and Heat Transfer Thermal Load in Building Calculations [Текст] / D.E. Fisher, C.O. Pedersen. // ASHRAE transactions т. 103, часть 2. изд-во «ASHRAE», 1997. 13 С.
3. **Клименко В.В.** Оценка потребления электроэнергии на кондиционирование в Москве в условиях ожидаемых изменений климата // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 1, с. 2–6.
4. **Попов, А.В.** Российские абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы нового поколения / А.В. Попов // Холодильная техника. — 2006. — № 6.
5. **Чишков А.С.** Исследование теплового режима путем энергомоделирования [Текст] / А.С. Чишков, К.В. Юкова. // Символ науки: международный научный журнал. Уфа: изд-во «Омега Сайнс», 2020. С. 71–74.

О.В. Некрасов, асп.; рук. В.Б. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭТАПНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО БЛОКА ПГУ

Многолетний опыт энергетического строительства в мире показал эффективность поэтапного строительства основного оборудования генерирующих мощностей на ТЭС. В России первый опыт возможного поэтапного ввода основного оборудования ПГУ ТЭС использован при проектировании Грозненской ТЭС, на которой в 2019 г. введены в эксплуатацию два блока ГТУ общей мощностью 360 МВт. Проектом предусмотрена возможность расширения ТЭС на 2-м этапе до теплофикационного парогазового блока общей мощностью 510 МВт.

На первом этапе строительства в корпусе ГТУ установлены две газотурбинные установки ГТУ №1 и ГТУ №2 SGT5-2000E «Simenes AG» 173,4 МВт, температурой выхлопных газов 538,8 °С, КПД 35,55%. Отвод дымовых газов ГТУ осуществляется через стальные дымовые трубы высотой 45 м и внутренним диаметром 8,1 м. Их конструкция предусматривает возможность дальнейшей замены поворотного газохода на дивертор (тройник с заслонкой) без необходимости глубокой реконструкции (рис.1).

На втором этапе строительства возможно расширение Грозненской ТЭС с установкой двух КУ типа ПК-107 и ПТУ типа Т-125/150-7,4. В результате надстройки суммарная электрическая мощность увеличивается до 510 МВт, КПД энергоблока составит 51% (в конденсационном режиме). Дымовые трубы, возведенные в рамках 1 этапа, байпасируются с помощью дивертора и газы после ГТУ поступают в КУ и затем отводятся в атмосферу через дымовые трубы КУ. Байпасная система выхлопных газов увеличивает гибкость, эффективность и безопасность работы энергоблока, работающего в комбинированном цикле.

Этапное возведение блоков ГТУ и ПТУ позволяет:

1. Разделить капитальные затраты на строительство по времени;
2. Возможность строительства на 2 этапе паросиловой надстройки без отключения генерации блоков ГТУ.

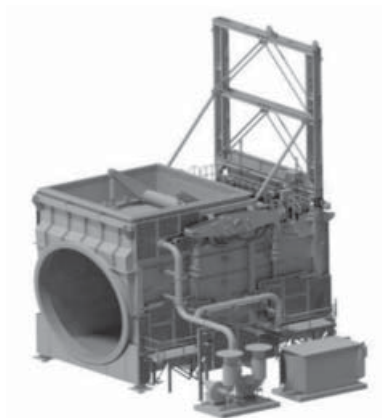


Рис. 1. Дивертор уходящих газов с гильотинной заглушкой

*Н.М. Худяков, студ.; рук-ли Д.В. Ракутина, к.т.н, доц.,
И.М. Чухин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ЦИКЛОВ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Вопрос повышения тепловой экономичности циклов паротурбинных установок (ПТУ) не теряет своей актуальности. Создание новых и совершенствование уже существующих схем выработки тепловой и электрической энергии невозможно без глубокого понимания основ процессов, происходящих в ПТУ.

В данной работе разработана программа для расчета и анализа базовых циклов паротурбинных установок в среде Microsoft Excel на основе учебно-методических пособий [1, 2]. Программа позволяет выполнить расчет простого цикла ПТУ (цикла Ренкина) с оптимизацией, цикла ПТУ с вторичным пароперегревателем с оптимизацией, регенеративного цикла ПТУ с оптимизацией, теплофикационного цикла ПТУ, цикла АЭС на насыщенном водяном паре с оптимизацией. Исходные данные для расчета вводятся на вкладке «Задания». Результаты расчета отображаются на вкладке «Расчет циклов ПТУ». Также для наглядного представления результатов расчета для каждого цикла создана отдельная вкладка с тепловой схемой и $h-s$ — диаграммой, на которых отображаются исходные данные и результаты расчета.

Для автоматизации расчета предварительно были оцифрованы таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара с помощью программы ABBYY FineReader и созданы несколько модулей автоматического поиска термодинамических параметров воды и водяного пара. Данная программа позволяет выполнить расчет более 1000 вариантов, заданных пользователем, и проводить оптимизационные исследования циклов паротурбинных установок.

Программа будет полезна как преподавателям для проверки курсовой работы по дисциплине «Техническая термодинамика», так и студентам для проведения исследований экономичности циклов ПТУ. Разработанная программа внедрена в учебный процесс кафедры ТОТ ИГЭУ.

Литература

1. **Чухин И.М., Ракутина Д.В.** Анализ тепловой экономичности циклов ПТУ: метод, указания и задания для выполнения курсовой работы / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». — Иваново, 2021.
2. **Чухин И.М.** Расчет термодинамической эффективности циклов паротурбинных установок: метод, указания и задания для выполнения курсовой работы / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». — Иваново, 2015.

*Ю.А. Макаркин, студ.; А.Р. Богдан, асп.;
рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ КВОУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ

В настоящее время строительство электростанций на базе газотурбинных установок (ГТУ) получает все большее развитие [1]. Мировой опыт эксплуатации газовых турбин показывает, что из всех эксплуатационных потерь ГТУ, значительная их часть связана с работой системы фильтрации воздуха, поступающего в осевой компрессор [2]. Важнейшим фактором качественной работы ГТУ является правильный подбор фильтрующих элементов в комплексной воздухоочистительной установке (КВОУ). За последние годы в России введены в эксплуатацию ГТУ со следующими основными типами фильтрующих систем: 2-ступенчатая КВОУ состоящая из фильтров грубой очистки (ФГО) в виде циклонных фильтров и карманных/кассетных фильтров тонкой очистки (ФТО); 3-ступенчатая КВОУ, состоящая из влагоотделителя, ФГО и компактной кассеты в качестве ФТО; 2-ступенчатая КВОУ, состоящая из импульсного ФТО и фильтр-чудка в качестве ФТО; одноступенчатая КВОУ с применением импульсивных фильтров [3]. Наибольшее распространение получила многоступенчатая схема, при которой подготовка воздуха осуществляется в несколько этапов, на каждом из которых происходит отделение пыли определенного размера. Фильтры первых ступеней выполняют функцию предварительной фильтрации, защищая фильтр тонкой очистки от попадания влаги и грубой пыли, тем самым, максимально продлевая его срок службы.

По данным ООО «ЕМВ филтратехник рус», правильный подбор системы фильтрации и применение НЕРА фильтров в качестве последней ступени очистки, позволяет снизить затраты, связанные с загрязнением проточной части в 2–4 раза. Так, например, на турбине M701F4 с фильтрами классов G4-F8-E12, за полгода работы потеря приведенной мощности составила 2,117 МВт (0,67%), в тоже время на турбине SGT5-4000 с фильтрами классов G4-G4-F8, снижение составило 5,184 МВт (1,26%).

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Издательство МЭИ — 2002.
2. **Шваб Ю.** Основные принципы фильтрации для газовых турбин // Турбины и дизели — 2008. — № 4. — С. 28–33.
3. **Шваб Ю., Богдан А.Р.** Сравнительный анализ различных систем фильтрации, применяемых на ГТУ в России // Газотурбинные технологии — 2009. — № 5. — С. 16–20.

*Ю.А. Макаркин, студ.; А.Р. Богдан, асп.;
рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГТЭ-160 НА ОПТОВОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЗАТОНСКОЙ ТЭЦ

Основной задачей развития тепловой генерации является обеспечение технического перевооружения действующих электростанций, а также ввод новых мощностей с использованием передовых технологий в производстве электроэнергии. Большое влияние на энергетические характеристики газотурбинной установки (ГТУ) оказывают климатические условия (температура, относительная влажность, давление наружного воздуха) [1]. В работе рассмотрен способ повышения эффективности и экономичности работы ГТУ с помощью охлаждения воздуха на входе в осевой компрессор (ОК). Повышение эффективности ГТУ в период стояния высоких температур наружного воздуха позволяет генерирующим компаниям снизить убытки, связанные с недовыработкой электроэнергии и недопоставкой мощности. Считается, что применение различных систем охлаждения циклового воздуха на входе в ОК актуально только для стран с жарким климатом. Однако, значительное разнообразие климатических условий на территории России позволяет достигать высоких экономических эффектов при реализации таких проектов. Мощность энергоблока можно повысить на 5–10% используя преимущества системы охлаждения воздуха [1, 2]. Компаниями ООО «Пауэр Инжиниринг Технолоджиз» и ЗАО «Роксор Индастри» были реализованы испарительные установки на двух энергоблоках (ЭБ) ПГУ-220 Затонской ТЭЦ ООО «БГК». В состав одного ЭБ входят ГТУ ГТЭ-160 (V94.2), двухконтурный паровой котел-утилизатор и паровая турбина Т-60/73-7,8/0,04. Система охлаждения испарительного типа — простое и дешевое решение для увеличения мощности ГТУ. Испарительный охладитель работает на основании такого физического явления как охлаждение при испарении. На охлаждающий материал, через который проходит воздух, подается вода, которая, испаряясь, охлаждает воздух. В процессе испытаний на ЭБ №1 17.06.23 удалось достигнуть максимального прироста мощности ГТУ в 9,62 МВт, в среднем он составил 6,69 МВт. На ЭБ №2 26.05.23 удалось достигнуть максимального прироста мощности ГТУ в 13,04 МВт, в среднем он составлял 10,16 МВт.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Издательство МЭИ — 2002.
2. **Шахин Н., Акул Х.** Системы охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок // И: Турбины и дизели. — 2011. № 3 — с. 10–12.

А.Г. Богомолов, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РОССИЙСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ

В нашей стране установлено (работает) более трехсот энергетических ГТУ. По данным Министерства энергетики РФ, совокупная мощность энергоблоков ГТУ и ПГУ составляет 20% от мощности всех ТЭС. В связи с санкционным давлением со стороны недружественных стран, остро стоит вопрос промышленного импортозамещения и разработки собственных методик проектирования и алгоритмов подбора оборудования под конкретный проект, а также разработки ответственных узлов и конструкций оборудования.

Комплексное воздухоочистительное устройство для энергетических ГТУ (КВОУ) представляет собой сварную металлоконструкцию на входе воздуха в газотурбинную установку и служит для следующих целей:

- 1) Подготовки циклового воздуха (рабочего тела ГТУ) для минимизации загрязнения проточной части осевого компрессора, камеры сгорания и лопаток турбины [1].
- 2) Направления подготовленного воздуха с оптимальными параметрами (давление, температура, допустимое поле скоростей) во входной патрубок к направляющему аппарату ГТУ (ВНА) [1].

КВОУ оснащается необходимым набором контрольно-измерительных приборов (КИП), рамами для крепления фильтр-элементов, теплообменниками для подогрева циклового воздуха в зимний период (в некоторых случаях подогрев воздуха осуществляется путем отбора воздуха с напора осевого компрессора), погодозащитными козырьками, каплеотбойниками, противомоскитными сетками, шумоглушителем, а также могут оснащаться охлаждающими установками (в частности — испарительного типа [2, 3]) для снижения сезонных ограничений в летний период и др.

При проектировании КВОУ необходимо выполнить комплекс задач по выбору требуемых характеристик оборудования. В НИУ «МЭИ» ведется работа по разработке методики проектирования КВОУ.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С.** Газотурбинные энергетические установки. Издательство МЭИ, 3-е изд. перераб. и доп.
2. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Издательство МЭИ — 2002.
3. **Шахин Н., Акул Х.** Системы охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок // И: Турбины и дизели. — 2011. № 3 — с. 10–12.

Д.А. Лымарев, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

О ВЛИЯНИИ РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВЫБОР РАСЧЁТНОГО ВАКУУМА ДЛЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Вакуум в конденсаторе является одним из ключевых параметров при проектировании паротурбинных установок, определяющим эффективность их работы. Для прямоточных систем охлаждения расчет вакуума в конденсаторах турбин проводился по среднегодовой температуре охлаждающей воды. В настоящее время проектирование прямоточных систем охлаждения запрещено. В связи с нарастанием дефицита водных ресурсов, большее распространение получают системы охлаждения сухого типа. Применение таких систем характеризуется более высоким давлением в конденсаторе, чем при использовании систем с испарительными градирнями. В зимний период существуют ограничения по минимальной температуре охлаждающей воды на выходе из градирен не ниже 14–18°C, для предотвращения обмерзания. Летом, в дневные часы, когда требуется максимум электрической нагрузки, температура наружного воздуха превосходит среднесуточную температуру месяца на 8–12°C в тени и на 15–25°C на солнце. Это приводит к существенному ухудшению вакуума, вплоть до максимально допустимых давлений, и ограничению мощности турбин. Кроме того, существенное влияние на выбор оптимального вакуума оказывает режим работы турбин. В период ночного провала турбоагрегаты вынуждены разгружаться до 40–50% от номинальной нагрузки, в результате чего нагрузка на конденсатор снижается. Следует также учитывать, что в течение года имеется более 100 выходных дней, средняя нагрузка оборудования в которые не превышает 60–70%.

Ухудшение вакуума для современных турбин с расчетным давлением 3,5 кПа до 7–12 кПа обуславливает снижение объёмного расхода пара на выхлопе ЦНД в 2–3 раза даже при номинальной нагрузке. Это приводит к отрывным течениям в последних ступенях ЦНД и снижению КПД лопаточного аппарата в них на 20–30% при номинальной нагрузке и на 30–50% при частичных нагрузках. Таким образом, при выборе расчетного вакуума в турбине необходимо отталкиваться не только от средней температуры охлаждающей воды, но и от условий работы оборудования [1]. Предварительные расчетные исследования показали, что в условиях рынка в качестве расчетного вакуума следует ориентироваться на давление в конденсаторе 7–10 кПа и даже выше, в зависимости от типа охлаждающей системы.

Литература

1. **В.П. Лагун, Л.Л. Симою, Э.А. Бойцова и др.** Методика и некоторые обобщенные результаты исследований выхлопных пагубков натурных паровых турбин // Теплоэнергетика. — 1991. — №. 2. — С. 28–33.

Д.Ю. Балакин, асп.;
рук. К.Э. Аронсон, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РЕЖИМА РАБОТЫ ОСНОВНОГО ЭЖЕКТОРА ПТУ ТЭС

Эффективность и надежность работы паротурбинной установки (ПТУ) в значительной степени определяются работой основных эжекторов.

Для мониторинга режима работы многоступенчатого пароструйного эжектора авторами разработана схема измерений, условно представленная на рисунке (полная схема измерений включает 21 точку).

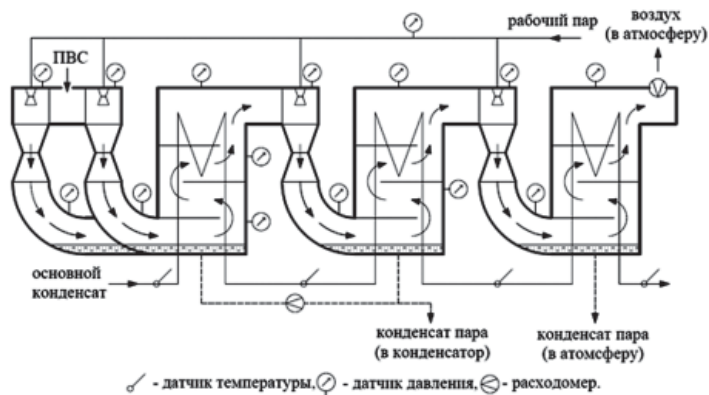


Рис. 1. Схема измерений многоступенчатого пароструйного эжектора

Данная схема измерений позволяет отслеживать изменение характеристик ступеней эжектора, исследовать процессы в его охладителях, диагностировать неисправности вакуумной системы ПТУ, а также оптимизировать управление эжектором в различных режимах его работы [1, 2].

Литература

1. Балакин Д.Ю. Аронсон К.Э. Определение предельного режима функционирования ступени многоступенчатого пароструйного эжектора с помощью расширенной схемы измерения // XIII семинар вузов по теплофизике и энергетике: Всерос. конф. НГТУ, 2023. 165 с.
2. Аронсон К.Э. А.Ю. Рябчиков, Н.В. Желонкин, Д.В. Брезгин, А.Л. Демидов, Д.Ю. Балакин. Особенности разработки и функционирования многоступенчатых пароструйных эжекторов М.: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2023, № 4. 5–15 с.

Е.И. Карташова, студ.;
рук. Н.Н. Кожухов, к.т.н., доц. (ВГТУ, г. Воронеж)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТУРБИНЫ ПТ-60-90/13 ВАСИЛЕОСТРОВСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

Мощные турбоустановки, например, турбина ПТ-60-90/13, важны для обеспечения энергией и теплом множества потребителей. Исследование и оптимизация их работы важны, так как это влияет на энергоснабжение и теплоснабжение. Испытания турбины ПТ-60-90/13 показали снижение КПД установки (Рисунок 1). Результаты испытаний также включают проверку работы турбины на максимальной мощности, что позволяет более полно оценить ее работу в различных условиях.

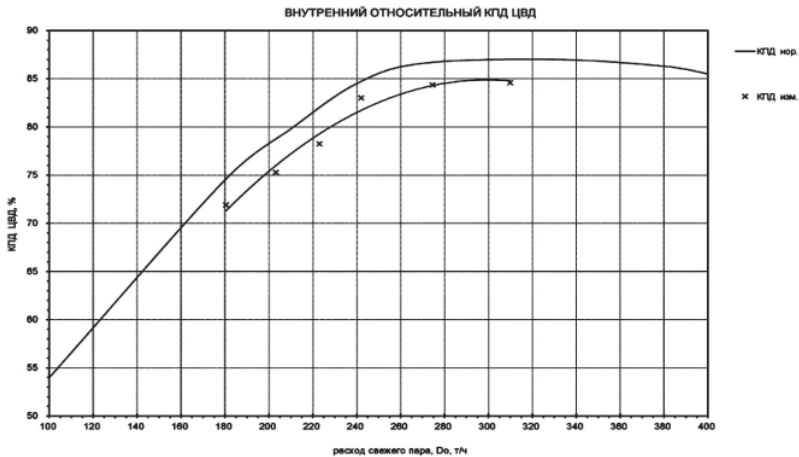


Рис. 1. Внутренний относительный КПД ЦВД

Анализ результатов испытаний [1] позволил предложить конкретные рекомендации по ремонту и модернизации турбоагрегата, влияющие на обеспечение и оптимизацию работы турбоустановки. Эти рекомендации могут быть использованы для повышения эффективности и продолжительности срока службы подобных установок, что важно для надежного энергоснабжения и теплоснабжения.

Литература

1. **Виноградов А.П.** Заключение по экспресс-испытаниям до капитального ремонта турбины типа ПТ-60-90/13 ст. №5 Василеостровской ТЭЦ (ТЭЦ-7) филиала «Невский» ПАО «ТГК-1» / Виноградов А.П., Беспятых П.А. — Санкт-Петербург, 2020.

*К.С. Рудяков, Н.Т. Манин, студенты;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛИПЕЦКОЙ ТЭЦ-2

Одной из основных проблем развития существующих ТЭЦ является снижение тепловой нагрузки потребителей вследствие отключения промышленных потребителей, уменьшения теплоснабжения в сфере ЖКХ благодаря проведению энергоэффективных мероприятий, применения индивидуальных источников теплоснабжения на новых объектах застройки. Данное обстоятельство негативно сказывается на эффективности работы теплофикационного оборудования, поскольку приводит к увеличению конденсационной выработки электрической энергии.

В этой ситуации основным направлением увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ является переключение на них потребителей водогрейных котельных, что позволяет снизить себестоимость производства тепловой энергии и увеличить эффективность работы оборудования ТЭЦ.

Данный подход рассмотрен на примере Липецкой ТЭЦ-2. ТЭЦ-2 расположена в г. Липецк, имеет установленную тепловую мощность 1002 Гкал/ч, установленную электрическую мощность 515 МВт, присоединенная договорная тепловая нагрузка в горячей воде 517 Гкал/ч.

Для увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ-2 рассмотрены два сценария переключения нагрузки котельной «Привокзальная». Общая договорная тепловая нагрузка котельной «Привокзальная» составляет 142 Гкал/я. В сценарии 1 переключается 24,73 Гкал/ч, в сценарии 2 переключается 11,53 Гкал/ч. Сравнительно небольшой объем переключаемой нагрузки потребителей объясняется ограничением пропускной способности основной тепломагистрали от ТЭЦ-2, что делает невозможным подключение большой тепловой нагрузки в горячей воде без проведения дорогостоящих мероприятий по увеличению диаметра тепломагистрали.

Моделирование гидравлических режимов работы тепловой сети ТЭЦ-2 после переключения тепловой нагрузки котельной «Привокзальная» было выполнено в программном комплексе Zulu Thermo. В результате моделирования были определены необходимые мероприятия на тепловых сетях для реализации предложенных сценариев: реконструкция 3,8 км тепловых сетей в двухтрубном исполнении и строительство 2 насосных станций в сценарии 1; реконструкцию 1,4 км тепловых сетей в двухтрубном исполнении и строительство 1 насосной станции в сценарии 2.

В случае реализации сценария 1 ожидается увеличение отпуска тепла с горячей водой с коллекторов ТЭЦ-2 на 135 тыс. Гкал в год, в сценарии 2 — на 116 тыс. Гкал в год.

*И.В. Пластинин, Д.С. Крайкин, студенты;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

УСТАНОВКА ИТП В ЖИЛЫХ ДОМАХ В ГОРОДЕ ИРКУТСКЕ

Ново-Иркутская ТЭЦ является основным источником централизованного теплоснабжения в г. Иркутск. Имеет установленную электрическую мощность 708 МВт, тепловую — 1612,5 Гкал/ч. В г. Иркутск большинство жилых домов подключена к открытой схеме ГВС (66,5%).

До недавнего времени законодательство РФ (Федеральный закон 190-ФЗ «О теплоснабжении») требовало перевода потребителей, подключенных к открытой схеме горячего водоснабжения на закрытую схему ГВС до 1.01.2022 г. В 2022 г. часть 3 статьи 23 закона 190-ФЗ дополнена пунктом 7.1, с требованием о выполнении в схемах теплоснабжения обязательной оценки экономической эффективности мероприятий по переводу открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения), отдельных участков таких систем на закрытые системы горячего водоснабжения.).

С целью определения экономической целесообразности перевода потребителей на закрытую схему были выполнены соответствующие расчеты.

Для перевода на закрытую схему необходима реализация следующих мероприятий:

- реконструкция или устройство нового ИТП с установкой теплообменников ГВС и автоматизацией;
- замена внутридомовых систем ГВС с применением полимерных труб;
- увеличение пропускной способности водопроводных вводов с учетом дополнительного расхода воды на ГВС;
- обеспечение не ниже 2-й категории надежности электроснабжения ИТП.

Для Ново-Иркутской ТЭЦ проведен подсчет средств для установки ИТП у каждого потребителя, подключенного по открытой схеме ГВС, с учетом его тепловой нагрузки. Общая величина капитальных затрат составит 6,4 млрд. руб. с НДС.

Потенциал энергосбережения в зданиях при установке ИТП с блоком погодного регулирования оценивается в 7% от объема потребления тепловой энергии на услуги отопления. Также учитывается сокращение производительности водоподготовительной установки подпитки теплосети, установленной на ТЭЦ.

По результатам расчетов простой срок окупаемости проекта составил 37 лет, дисконтированный — 47 лет. Данные результаты указывают на низкую эффективность проекта перевода потребителей с открытой на закрытую схему ГВС и не позволяют рекомендовать его к реализации.

Секция 49

КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Monitoring, automation, and control in power engineering

Председатель секции: к. т. н., доцент Мезин Сергей Витальевич

Секретарь секции: Фарафонов Георгий Викторович

*Р.И. Кичатый, А.А. Борздун, Е.А. Кондратьева, студенты;
рук. Ю.Ю. Ягупова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

За последнее время искусственный интеллект (ИИ) достиг значительных успехов в своем развитии, и в ближайшем будущем прогнозируется более широкое внедрение программ искусственного интеллекта в энергетическую отрасль, особенно на тепловых электростанциях. Этот процесс может повысить как эффективность станции, так и труда человека в данной сфере, однако следует учитывать положительные и отрицательные аспекты данной тенденции.

Использование ИИ позволяет оптимизировать процессы управления и планирования, анализировать большие объемы данных и прогнозировать спрос на электроэнергию, что позволяет более точно преобразовать ресурсы и избежать лишних затрат.

Более того, ИИ может помочь в управлении и обслуживании внутренних систем. С помощью автоматизированных алгоритмов и анализа данных ИИ может оптимизировать работу оборудования, обнаружить и устранить неисправности, а также предотвратить аварии и снизить риски.

Еще одним преимуществом развития ИИ в энергетике является возможность повышения производительности и устойчивости работы промышленного объекта. ИИ может помочь оптимизировать использование возобновляемых источников энергии и увеличить энергоэффективность, что, в свою очередь, уменьшит негативное воздействие на окружающую среду.

Внедрение ИИ требует инвестиций и специалистов по развитию, но в конечном итоге может принести значительные выгоды как для экономики, так и для окружающей среды.

Одним из основных недостатков искусственного интеллекта является его непредсказуемость. Это может быть проблематично в энергетической отрасли, особенно когда речь идет о безопасности и надежности систем энергоснабжения.

*Д.З. Дзахмишева, студ.; Д.В. Тороп, асп.;
рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ АСУ ЦТП

В современном мире остро стоит проблема экономии энергоресурсов. Одним из мероприятий в сфере повышения энергоэффективности объектов теплоснабжения является разработка цифровой модели прогнозирования спроса на тепловую энергию. Модель позволит предсказать объем потребления тепловой энергии на следующий период и определить количество энергии, необходимое для удовлетворения спроса.

Результаты обработки данных представлены на рисунке 1: здания, построенные позже, потребляют больше тепловой энергии, чем здания более ранних построек.

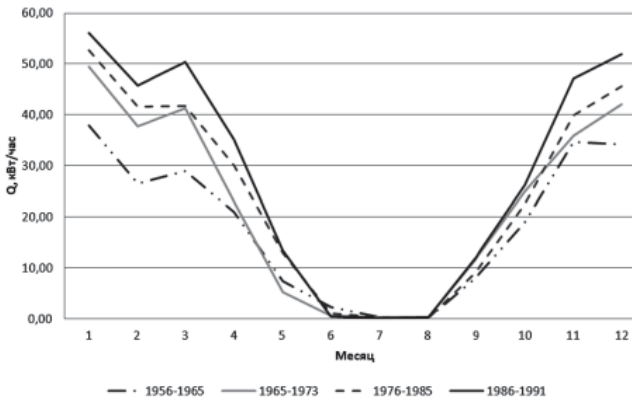


Рис. 1. График потребления тепла зданиями школы типового проекта 65–426/1

Причина перераспределения тепловой энергии заключается в отложениях солей жесткости на стенках трубопроводов [1], диаметр которых 0,05 м, а толщина отложений — 0,025 м [2].

Можно выявить объекты, требующие проведения мероприятий по увеличению энергоэффективности, в том числе повышения точности регулирования АСУ ЦТП.

Литература

1. **Цыпина, Е.Ю.** Теоретические основы современной метрологии [Текст] / Е.Ю. Цыпина — Москва: Издательство МЭИ, 2020 — 144 с.
2. **Шкаровский, А.Л.** Теплоснабжение. Учебник [Текст] / А.Л. Шкаровский — 3-е изд. — Издательство Лань, 2023 — 392 с.

Д.М. Суслов, асп.; рук. Г.А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ПРОВЕРКА МОДУЛЕЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА

Адаптивные системы состоят из двух основных блоков: идентификации, и оптимизации. Первый — отвечает за определение новых параметров измененного объекта, работа второго состоит в поиске оптимальных настроек для уточненного объекта.

В данной работе принят метод подачи гармонических воздействий. Он обладает наибольшей селективирующей способностью выделения гармоника известной частоты на фоне случайных возмущений в объекте.

Для максимального сокращения времени идентификации использован авторский метод отрицательной корреляции, в котором производится обработки всего двух ординат одного периода. Получение высокой точности обусловлено низкочастотностью возмущений [1] по отношению к собственной частоте системы регулирования.

При разработке блока оптимизации исследовано влияние погрешности идентификации, на критерии оптимальности.

Для нивелирования погрешностей применён [2] принцип управления по прогнозу регулируемой величины. Он позволяет получить качественные переходные процессы даже по одному эмпирически полученному вектору объекта.

С целью подтверждения высказанных утверждений выполнен расчет адаптивной системы регулирования температуры в расщелке ВРЧ котла энергоблока 800 МВт [3].

Результаты расчёта убедительно доказывают достоверность предложенных методологий.

Литература

1. **Ротац В.Я.** Теория автоматического управления: Учебник для вузов. М.: Издательство МЭИ. 2007.
2. **G.A. Pikina, F.F. Pashchenko.** The predictive principle in control systems with standard lows. the 13th International Symposium “Intelligent Systems — 2018”, INTEL2018. October 22–24, 29–31, 2018. St. Petersburg, Russia. Proceedings of INTELS’18 will be published in Procedia Computer Science (Elsevier), included in SCOPUS and Web of Science, ISSN: 1877-0509.
3. **Давыдов Н.И., Бояршинов Д.Г.** Модельные исследования системы автоматического регулирования мощности энергоблока 800 МВт на базе его экспериментальных характеристик // Сб. тр. конференции Control. — 2003. С 80–88.

*В.М. Щербаков, асп.; Е.А. Пыткина, студ.;
рук-ли А.А. Орлов, к.т.н., доц.; Е.В. Крылова, к.п.н., доц.;
А.В. Сириченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД) БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время РФ в целом, и энергетическая отрасль в частности, находятся под жестким санкционным давлением со стороны стран — бывших партнеров, в связи в чем остро встал вопрос о необходимости замены импортных турбин большой мощности, которые, в отличие от турбин малой и средней мощности, отличаются более сложными и длительными циклами производства, эксплуатации и ремонта.

После долгих лет испытаний, в 2023 году завершены испытания первой, полностью отечественной, серийной турбины большой мощности ГТД-110М [1], для безопасной и длительной эксплуатации которой необходимо создание и применение новых подходов для интеллектуального [2] автоматизированного параметрического диагностирования [3] текущего состояния элементов и объективной оценки остаточного ресурса работающего агрегата.

Методы параметрического диагностирования ГТД, подразделяются на функциональные — по изменению параметров динамических процессов и физико-механических параметров и тестовые — предусматривающие формирование специальных воздействий, стимулирующие у объекта диагностики реакцию, сравнимую с известными реакциями, соответствующими различным его техническим состояниям.

Целью работы является разработка и алгоритмизация интеллектуальной АСУ параметрического диагностирования текущего состояния элементов и оценки остаточного ресурса ГТД большой мощности.

Литература

1. **Лебедев А.С.** Энергетические газовые турбины в России: проекты и реальность. М.: Издательский дом Газотурбинные технологии, 2023 — 240 с.
2. **Трофимов В.Б., Кулаков С.М.** Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учебно-практическое пособие. М.: Издательство Инфра-Инженерия, 2022 — 452 с.
3. **Симкин Э.Л.** Параметрические методы диагностирования авиационных двигателей при стендовых испытаниях и в эксплуатации. М.: Издательский дом Лань-Пресс, 2022 — 452 с.

*Р.С. Урвачев, студ.; А.С. Шабунин, асп.;
рук. А.В. Андриюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА С ПОМОЩЬЮ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Физико-математическое моделирование имеет множество областей применения и предоставляет ценные инструменты для анализа, понимания и оптимизации различных систем. Основными аспектами, подчеркивающими актуальность физико-математического моделирования, является создание прогностических моделей, проведение экспериментов для оптимизации процессов и использования ресурсов, исследование новых технологий без необходимости физической реализации.

Используя известные уравнения внутри физико-математической модели, можно связать между собой управляющие, контролируемые и внешние параметры объекта мониторинга. В статье рассмотрено использование такой модели для конденсационной установки котельного агрегата.

Для создания модели использовалась программа OpenModelica [1], а для запуска симуляций с определенно заданными параметрами — OMPython [2], интерфейс для взаимодействия с моделями через язык программирования Python.

Входными для модели являются: параметры технического состояния, которые характеризуют плотность и загрязнение трубок конденсатора, и режимные параметры, которые определяют граничные условия работы конденсационной установки. Выходными параметрами являются расчетные показания датчиков. Используя в качестве целевой функции ошибку между измеряемыми и расчетными показаниями датчиков, при соответствии режимных параметров, можно найти параметры технического состояния, которые соответствуют объекту [3]. Таким образом возможно отследить изменение параметров, которые позволяют диагностировать неисправности объекта.

Литература

1. **OpenModelica (электронный ресурс)** <https://openmodelica.org> [дата доступа: 13.11.23]
2. **GitHub (электронный ресурс)** <https://github.com/OpenModelica/OMPython> [дата доступа: 13.11.23]
3. **Шабунин А.С., Чернецкий М.Ю.** Физико-математические модели газотурбинных установок в системе предиктивной аналитики ПРАНА // Научный журнал Российского газового общества. 2022. № 4(36). С. 72–81. DOI 10.55557/2412-6497-2022- 4-72-81.

*Е.А. Семенова, П.В. Ушаков, А.А. Опросичев,
Г.И. Хорошилов, студенты; И.М. Молотов, асп.;
рук. О.М. Проталинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

В настоящем докладе в рамках работ по имитационному моделированию электроснабжения на основе солнечно-ветровой генерации с гибридным накопителем энергии представлена концептуальная модель управляющей системы, обеспечивающей балансировку мощности в автономной электросети в целях получения надежного электроснабжения, а также функция контроля, осуществляющая учет баланса энергии для определения качественных характеристик электроснабжения.

В состав имитационной модели [1], на основе которой разрабатывается управляющая система, входят следующие модели подсистем электроснабжения: солнечная фотоэлектрическая установка, ветроэнергетическая установка, литий-ионная аккумуляторная батарея, а также водородный аккумулирующий цикл.

Упомянутый выше концепт реализован в отечественной среде Simintech, которая предназначена для разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев.

Исходными данными по интенсивности солнечного излучения, скорости ветра и температуре являются среднечасовые данные за год, а также типовой суточный график нагрузки для промышленных предприятий при односменном режиме работы. Входными и выходными параметрами подсистем являются паспортные технические характеристики на оборудование. В работе приведен алгоритм управляющей системы, который опирается на календарный план сезонного аккумулирования энергии.

В результатах представлена балансировка электрической мощности путем автоматического регулирования согласно установленному алгоритму, а также приведены качественные характеристики электроснабжения на основе учета потребления электроэнергии.

Литература

1. Молотов И.М., Счастливцев А.И., Дуников Д.О., Масленникова М.Р., Мезин С.В., Проталинский О.М. Управление в целях обеспечения балансовой надежности электроснабжения на основе солнечной генерации с водородным аккумулированием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.

*Д.Н. Темрина, студ., Д.В. Тороп, асп;
рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АЛГОРИТМ ПО ПОДГОТОВКЕ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ПИ-РЕГУЛЯТОРАХ

Решение проблемы подготовки и обработки данных повысит эффективность работы АСУ в тепловых пунктах вследствие повышения точности настроек ПИ-регуляторов. Предлагаемый алгоритм может способствовать снижению тепловых потерь в системе отопления.

В качестве исходных данных используются параметры: количество используемой теплоты на объекте, температуры прямой и обратной сетевой воды. По ним определяется расход воды, необходимый для поддержания нормируемой температуры в помещении. По величине расхода строится кривая разгона, которая в зависимости от величины подаваемых возмущений перестраивается в переходную характеристику.

Для приближенного расчёта можно представить исследуемый объект управления в виде последовательного соединения аperiodического звена и звена запаздывания. По переходной характеристике определяются время запаздывания τ_0 , постоянная времени T_0 и коэффициент передачи А-звена k_a . Вычисление коэффициентов настройки ПИ-регулятора выполняется по следующим формулам [1]:

$$k_{\text{п}}^{\text{опт}} = \frac{1}{k_a} \cdot \left(0,4 + \frac{0,42}{\frac{\tau_0}{T_0} - 0,07} \right) \quad (1)$$

$$k_{\text{и}}^{\text{опт}} = \frac{1}{k_a \cdot \tau_0} \cdot \left(0,16 + 0,52 \cdot \frac{\tau_0}{T_0} \right) \quad (2)$$

Литература

1. Назармаматов Ш.М., Абдулрахим К.К. Исследование оптимальных методов настройки параметров для ПИД-регуляторов // Общество, 2023, № 2.



Рис. 1. Структурная схема алгоритма вычисления коэффициентов в ПИ-регуляторах

А.Ю. Трифонов, асп.;
рук. И.К. Муравьев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИНЫМИ УСТАНОВКАМИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ С ПРЕДИКТИВНОЙ МОДЕЛЬЮ

Одной из задач АСУТП электростанции является повышение уровня автоматизации и интеллектуализации выполняемых функций. Несмотря на ввод в широкую эксплуатацию современных многофункциональных АСУТП на базе программно-технических комплексов, выявляются существенные проблемы, связанные с неотработанностью алгоритмов управления и несовершенством технологии создания эффективных систем управления сложными технологическими объектами [1].

Сложность создания АСУТП также неразрывно связана со сложностью синтеза локальных систем управления многомерных многосвязных объектов управления. Особенно это характерно для систем управления газотурбинными установками современных газотурбинных и парогазовых установок [2].

В работе для решений вышеописанных проблем предлагается использовать способ синтеза систем автоматического управления (САУ) на основе предиктивной модели [3]. Способ широко представлен в зарубежной литературе и обладает преимуществом в виде учёта ограничений на вектор входных и выходных координат объекта управления. Данный способ использует параметры линеаризованной модели, которые можно получить в процессе идентификации объекта управления. Это позволяет реализовать адаптивную систему регулирования.

В результате реализована система управления газотурбинной установкой на основе предиктивной модели, проведён сравнительный анализ с типовой структурной схемой на основе классических регуляторов и сделаны соответствующие выводы о целесообразности использования такой системы.

Литература

1. Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 1. Проблемы и задачи / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Тверского; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2013. — 260 с.
2. **Тверской Ю.С., Муравьев И.К., Тверской Д.Ю., Гайдина Ю.А.** К вопросу структурного синтеза эффективных систем управления технологическим процессом // Датчики и системы. — 2022. — № 6. — С. 20–32.
3. **Qin S.J., Badgwell T.A.** A survey of industrial model predictive control technology // Control engineering practice. — 2003. — Т. 11. — № 7. — С. 733–764.

*Е.Д. Максимова, С.Р. Фильчагин, студенты;
рук. Ю.Ю. Ягупова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Прогресс в области информационных технологий приводит к введению передовых технологий в различные сферы человеческой деятельности. Искусственный Интеллект (ИИ), в частности, становится неотъемлемой частью многих производственных и научных процессов. И новой задачей становится исследование потенциала применения нейронных сетей (НС) в сфере энергетики.

Задача оптимизации режимов работы тепловых электрических станций является одной из важнейших задач энергетики. При анализе работ, посвященных оптимизации работы ТЭС выявлено, что за последнее время увеличивается уровень интеграции НС в энергетическую сферу. Уже разработанные нейронные сети направлены на расчет алгоритма оптимизации процессов, протекающих на станции. Опытным путем подтверждается, что использование НС в энергетике может способствовать автоматизации процессов, увеличивая эффективность и обеспечивая безопасность энергетических объектов. В ряде случаев продемонстрировано преимущество НС по сравнению с традиционными методами. Например, нейронная сеть способна предсказывать изменения параметров на ТЭЦ или атомных электростанциях при воздействии на них различных факторов более оперативно, чем человек. Это обеспечивает не только увеличение скорости реакции, но и снижение вероятности возникновения ошибок в управлении системой [1].

Однако, следует отметить, что полная зависимость от НС не лишена рисков. Возможность сбоев или ошибок в функционировании системы представляет потенциальную угрозу, которую необходимо учитывать. Более того, использование искусственного интеллекта может вызвать обесценивание человеческого труда, влекущее за собой социальные и экономические последствия.

Таким образом, применение НС в энергетической промышленности открывает новые перспективы для оптимизации производственных процессов, но требует баланса между автоматизацией и участием человека, чтобы обеспечить стабильность и безопасность энергетических систем.

Литература

1. **Горбунов В.А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2011. — 476 с.

Р.А. Тюрин, студ.; рук. В.В. Охотин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ ВЕРХНЕГО БЛОЧНОГО УРОВНЯ, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СОСТАВЕ АСУ ТП ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1200

Системы верхнего блочного уровня (СВБУ), контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации (СКУ НЭ), а также контроля, управления и диагностики реакторной установки (СКУД РУ) являются ключевыми компонентами АСУ ТП энергоблока, поэтому необходимо обеспечить надежный контроль знаний требований к ним.

Целью данной работы была разработка и реализация системы автоматизированного контроля знаний требований к СВБУ, СКУ НЭ и СКУД РУ в составе АСУ ТП энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1200.

Анализ рабочей документации энергоблоков № 1 и № 2 ЛАЭС-2 [1–3] позволил составить по указанным системам 70 вопросов для проведения контроля знаний.

Программная реализация системы автоматизированного контроля знаний выполнена на языке программирования Python. С помощью фреймворка Flask был создан пользовательский интерфейс, а для управления доступом пользователей и защиты данных использовалась библиотека Flask-Login.

Литература

1. Ленинградская АЭС-2, энергоблоки № 1 и № 2. Описание основных систем АСУ ТП. Система верхнего блочного уровня, п. 5.7.8.5.1. — Филиал ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект»», 2014, с. 11–56.
2. Ленинградская АЭС-2, энергоблоки № 1 и № 2. Описание основных систем АСУ ТП. Система контроля, управления и диагностики, п. 5.7.8.5.4., — Филиал ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект»», 2014, с. 144–170.
3. Ленинградская АЭС-2, энергоблоки № 1 и № 2. Описание основных систем АСУ ТП. Система контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации (СКУ НЭ), включая системы контроля и регулирования турбины (СКРТ), п. 5.7.8.5.5. — Филиал ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект»», 2014, с. 171–183.

*Г.И. Хорошилов, И.В. Пармонов, П.В. Ушаков,
А.А. Опросичев, студенты; И.М. Молотов, асп.;
рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В настоящем докладе в рамках работ по синтезу управляющей системы, обеспечивающей надежное автономное электроснабжение на основе возобновляемых источников энергии с водородным накопителем энергии [1, 2], представлена динамическая модель водородного аккумулирования энергии. Проект моделируемой перспективной системы хранения энергии состоит из следующих основных элементов: электролизер, ресивер, водородный компрессор, водородный компрессор, газовые баллоны, водородный топливный элемент.

Модель выполнена в отечественной среде динамического моделирования технических систем Simintech в двух различных реализациях: с использованием библиотеки функциональных блоков «Теплогидравлика (HS)», а также — «Гидро-и пневмосистемы (ГПС)».

Входными и выходными параметрами подсистем являются паспортные технические характеристики на оборудование. Моделирование осуществляется на номинальных режимах работы электролизера, водородного компрессора и водородного топливного элемента.

В докладе приводится сопоставление результатов, полученных при различных реализациях моделирования, кросс-верификация используемых библиотек, а также сопоставление скорости моделирования.

Работа выполнена в рамках проекта «Имитационное моделирование электростанции на основе возобновляемых источников энергии с водородно-воздушным аккумулированием энергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

Литература

1. **М.Р. Масленникова, И.М. Молотов, С.В. Мезин.** Имитационное моделирование электростанций на основе возобновляемых источников энергии с водородно-воздушным аккумулированием энергии // Технологии будущего. — Изд. МЭИ, 2023. — С. 186–196, ISBN 978-5-7046-2880-4.
2. **Молотов И.М., Счастливцев А.И., Дуников Д.О., Масленникова М.Р., Мезин С.В., Проталинский О.М.** Управление в целях обеспечения балансовой надежности электроснабжения на основе солнечной генерации с водородным аккумулированием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.

О.Д. Афанасьева, студ.;
рук. А.В. Андриюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ГОЛОСОВАНИЯ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ КОМАНД ЗАЩИТ УСБ

Повышение надёжности атомных электростанций (АЭС) является актуальным направлением, т.к. это обеспечивает безопасность, экономическую выгоду, способствует соответствию стандартам и нормам, а также укрепляет доверие общественности и повышает конкурентоспособность.

В рамках настоящей работы была рассмотрена управляющая система безопасности (УСБ). УСБ входит в состав автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) АЭС. Основной задачей УСБ является своевременное обнаружение аварийных ситуаций и инициирование действий, которые требуются для управления аварией и поддержания работы в заданных проектом границах.

На рисунке 1 представлена схема формирования и передачи команд защит УСБ. Выбор этой схемы обусловлен наличием наиболее удобной функциональной структуры и наглядности принятия решения.

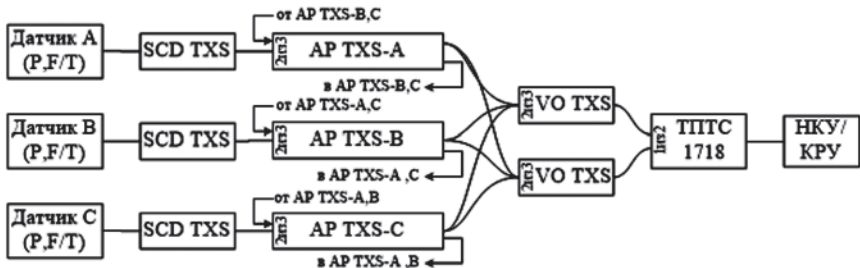


Рис. 1. Схема формирования и передачи команд защит УСБ

Модели с различной логикой голосования рассматривались без учёта восстановления.

Результаты проведенных исследований:

- расчёт и анализ вероятности безотказной работы отказов типа катастрофы для различных логик голосования в течение 1 года;
- анализ различных логик голосования по неформальному критерию при помощи метода баллов;
- выбор оптимальных логик голосования схем формирования и передачи команд защит УСБ на основе проведенных расчетов и анализа.

Секция 50

ТЕПЛОТЕХНИКА И МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Heat engineering and small distributed power engineering

Председатель секции: к.т.н. Мереуца Евгений Васильевич

Секретарь секции: Абрамова Дарья Александровна

В.В. Шаронов, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОЖИДКОСТИ

Проблема интенсификации теплообмена становится лишь более актуальной в наши дни, по этой причине многие научные работы в области теплообмена рассматривают различные варианты ее решения. В частности, охлаждение микропроцессоров, тепловыделение в которых непосредственно связано с их вычислительной мощностью, является актуальной проблемой, решение которой приведет к значительному прогрессу в компьютерной технике. В качестве возможного решения предлагается использовать системы жидкостного охлаждения (СЖО) с наномодифицированным теплоносителем, которые имеют лучшие теплофизические характеристики, по сравнению с повсеместно используемой водой.

Научные исследования наножидкости, имеющиеся на данный момент, показывают высокую тепловую эффективность наножидкости как теплоносителя, так как она имеет больший коэффициент теплопроводности, и при ее применении достигается большее значение коэффициента теплоотдачи. По этой причине существует немалое количество работ, где рассматривается прирост эффективности теплообмена при добавлении наночастиц в контур циркуляции теплоносителя СЖО. Однако работ, где было бы изучено поведение наножидкости при длительной эксплуатации, ее влияние на охлаждающий контур и возможное ухудшение ее теплоотводящей способности практически нет. Отсутствие этих данных не позволяет оценить реальный потенциал применения наножидкости.

В данной работе планируется разработать экспериментальный стенд для исследования эксплуатационных свойств наножидкости, таких как время и интенсивность осаждения наночастиц, деградация теплоносителя и стенок циркуляционного контура.

Литература

1. **Gonçalves I. et al.** Thermal conductivity of nanofluids: A review on prediction models, controversies and challenges // Applied Sciences. — 2021. — Т. 11. — №. 6. — С. 2525.
2. **Al-Rashed M.H. et al.** Investigation on the CPU nanofluid cooling // Microelectronics Reliability. — 2016. — Т. 63. — С. 159–165.

А. Альнассар, асп., рук. Н.Ф. Макеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОРЕБРЕННОЙ ТЕПЛОЙ ТРУБЫ НА СКРЫТУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

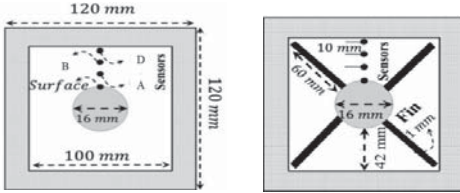


Рис. 1. Участок, перпендикулярный оси трубы

Системы хранения скрытого тепла являются одной из наиболее многообещающих концепций хранения энергии с использованием материалов с фазовым переходом (МФП). МФП поглощают или выделяют тепло при температуре, близкой к постоянной, во время фаз плавления и затвердевания. Недостаток использования МФП обусловлен его низкой теплопроводностью, что приводит к увеличению времени и увеличению площади поверхности для зарядки и отдачи тепловой энергии. Чтобы преодолеть эту проблему, была предпринята попытка использовать обычную оребренную тепловую трубку. МФП представляет собой парафин, температура плавления = 330 К. Модель резервуара с тепловой трубкой без ребер и модель резервуара с тепловой трубкой с оребренными были спроектированы с использованием программного обеспечения ANSYS и SolidWorks.

Уравнение энергии:

$$\Delta E = Q = \int_{T_i}^{T_m} \rho V c_{p,s}(t) dT + \rho V h_{sl} + \int_{T_m}^{T_f} \rho V c_{p,l}(t) dT \quad [kJ] \quad [1]$$

В результате моделирования можно сделать следующие выводы:

- Время, необходимое для плавления парафина (МФП) в резервуаре при плавлении всех МФП произошло за 3 часа (пиковая солнечная мощность) при использовании тепловой трубки с ребрами, значит добавление ребры по диагонали помогли сократить время плавления на 57%.

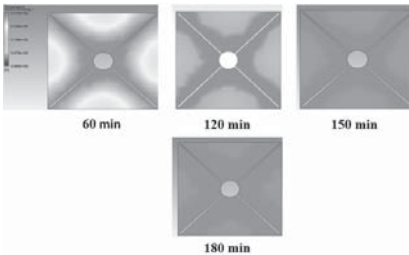


Рис. 2. Часовые контуры температуры резервуара (2D)

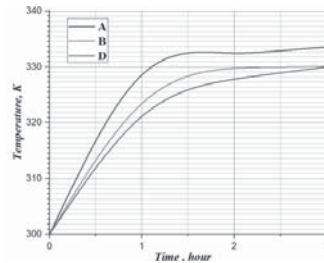


Рис. 3. Распределение температуры перпендикулярно оси трубы

Литература

1. Sterner, Michael, and Ingo Stadler, eds. Handbook of energy storage: Demand, technologies, integration. Springer, 2019.

*Р.Р. Даминов, Б.Р. Хисамиев, А.Р. Хуснутдинова, студенты;
рук. М.Г. Зиганшин, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ РОССИЙСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ Renga для СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Эффективное управление системами теплоснабжения жилых зданий является важной задачей для снижения энергопотребления в строительном секторе. Одним из перспективных подходов является создание цифровых двойников зданий и их инженерных систем с использованием BIM-технологий.

Ранее цифровые модели инженерных систем создавались преимущественно в ПО Revit компании Autodesk. Однако в связи с уходом Autodesk с российского рынка актуальной стала задача импортозамещения в области BIM-технологий с переходом на отечественный программный комплекс Renga.

В данной работе рассматриваются последние обновления ПО Renga, а также приводится пример построения цифрового двойника системы отопления жилого дома в Revit и Renga.

За последние месяцы ПО Renga получило ряд улучшений, позволяющих расширить возможности одновременного редактирования 3D-модели несколькими пользователями, став более удобнее для использования средними и крупными проектными компаниями. Обновления коснулись таких инструментов, как функции открытия проекта в формате IFC, экспорта в формат IFC, добавления категорий объектов инженерных систем (STD L), вставки из 3D-форматов ACIS, STEP, Parasolid, IGES, JT, VRML, экспорта в 3D-форматы ACIS, STEP, Parasolid, JT, совместной работы в режиме реального времени.

Кроме того, появилась возможность создавать необходимые объекты с помощью нового предметно-ориентированного языка Renga STD L на основе Lua, расширяющий каталог необходимых элементов.

В настоящее время в ПО Renga можно создавать практически все инженерные системы здания, используя собственные оригинальные принципы построения систем. Например, при моделировании системы вентиляции оборудования создаются через дерево схемы вентиляции.

Таким образом, ПО Renga активно развивается в направлении расширения функционала для информационного моделирования инженерных систем зданий, что открывает перспективы его применения для создания цифровых двойников.

Для оценки возможностей ПО Renga было выполнено моделирование системы отопления 10-этажного жилого дома в программах Revit и Renga. Сначала традиционным способом был рассчитан вариант однотрубной тупиковой системы отопления с определением диаметров труб и площадей отопительных приборов.

Затем на основе расчетов в ПО Revit была построена цифровая информационная модель системы отопления. Далее та же модель была выполнена в ПО Renga с верификацией результатов по данным из Revit.

Дополнительно создана лабораторная модель помещения и отопительного прибора уменьшенной геометрии с соблюдением условий геометрического подобия, а также подобия гидродинамических и тепловых процессов в помещении, с целью валидации результатов для создания в последующем цифрового двойника системы отопления жилого здания на основе ПО Renga.

Сопоставление результатов моделирования в двух программных комплексах показало их хорошее соответствие. Это свидетельствует о принципиальной возможности замены ПО Revit на ПО Renga при создании цифровых моделей инженерных систем зданий.

Использование отечественного ПО Renga для построения цифровых двойников систем теплоснабжения жилых зданий открывает перспективы повышения эффективности управления тепловой энергией. По оценкам, внедрение цифровых двойников на основе ПО Renga позволит сэкономить до 135 млн рублей для компаний, эксплуатирующих городские системы теплоснабжения. Дальнейшее развитие функционала ПО Renga и накопление практического опыта применения будут способствовать расширению использования BIM-технологий в России.

Литература

1. **Хуснутдинова, А.Р., Зиганшин, М.Г.** Цифровое информационное моделирование зданий на основе ПО REVIT И Renga / А.Р. Хуснутдинова, М. Г. Зиганшин // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы VIII Национальной научно-практической конференции (Казань, 8–9 декабря 2022 г.). — Казань: Центр публикационной активности КГЭУ, 2023. — С. 453–455.
2. **СП 54.13330.2022** «СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные»
3. **СП 50.13330.2012** «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий»
4. **СП 60.13330.2020** «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
5. **А.М. Зиганшин, М.Г. Зиганшин.** Smart BIM в О и В. Информационное моделирование в отоплении и вентиляции = Smart BIM in HVAC. Information Modeling in Heating and Ventilation Systems: Учебно-методическое пособие для учебной и научной работы студентов направления «Строительство» (квалификация «магистр»). Изд. 2-е, перераб. и дополн. — Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2019. — 349 с.
6. **Renga** // Знакомство с Renga / [Электронный ресурс] / [сайт]. — URL: <https://help.rengabim.com/ru/index.htm>

*Н.А. Гончарова, Я.Д. Лагонская, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

РАСЧЕТ ДРОССЕЛЬНЫХ КОНДЕНСАТООТВОДЧИКОВ С АККУМУЛИРУЮЩИМ ОБЪЕМОМ

Среди известных конденсатоотводчиков наиболее простыми по конструкции и надежными в работе из-за отсутствия подвижных элементов являются конденсатоотводчики дроссельного типа. Однако, их эффективная работа ограничивается узкими интервалами колебаний расхода и давления пропускаемого потока конденсата.

В [1] предложен конденсатоотводчик с последовательно установленными в точном канале дроссельными шайбами и аккумуляющим объемом во входном паровом патрубке, который в значительной степени лишен названного недостатка. В настоящей работе приводится методика расчета основных характеристик предложенного конденсатоотводчика.

Методика основывается на использовании опытной зависимости для расхода G пароконденсатной смеси, проходящей через дроссельные шайбы конденсатоотводчика,

$$G/G_B \Big|_{\Delta p = \text{idem}} = 0,02x^{-1,11}, \quad (1)$$

справедливой в области изменения паросодержания смеси $x = 0,05 \dots 0,2$ кг пара/кг смеси, что соответствует количеству образующегося из потока пропускаемого конденсата вторичного пара при изменении потока в процессе дросселирования на величину $\Delta p = p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}$. В уравнении (1) G_B — расход охлажденного конденсата через дроссельные шайбы. Для области паросодержания $x > 0,2$, соответствующей наличию в потоке пропускаемого конденсата пролетного пара, расход пароконденсатной смеси определяется по гомогенной модели течения двухфазной смеси. Объем аккумуляющей емкости определяется с использованием значений максимального и среднего расходов выпускаемого конденсата за рабочий цикл из конкретного теплообменного устройства с конденсатоотводчиком.

Удовлетворительная сходимость результатов расчетов по разработанной методике с измерениями на действующих промышленных объектах позволяет рекомендовать методику для практических приложений.

Авторы работы участвовали в разработке алгоритма и программы расчета, в проведении расчетов.

Литература

1. Патент РФ № 2467243, МПК F16T 1.00. Конденсатоотводчик / Ю.Я. Печенегов, А.В. Косов. Изобретения. Полезные модели, 2012. № 32.

Д.А. Крыницкая, студ.;
рук. М.Г. Зеодинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОВ В РЕЖИМЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Интегральная степень черноты является важным теплофизическим свойством, которое характеризует способность реальных тел поглощать и испускать энергию излучения. Значение данного параметра определяет точность расчета лучистого теплообмена в промышленном оборудовании, применяемом в различных областях производственной деятельности, таких как энергетика, металлургия, ракетная техника и других. Авторами разрабатывается прибор для измерения интегральной степени черноты в температурном диапазоне 500–1750 К, его схема представлена на рисунке 1.

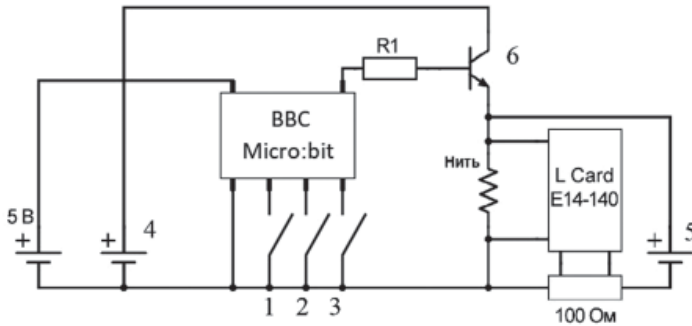


Рис. 1. Схема прибора

1, 2, 3 — управляющие кнопки; 4 — источник постоянного тока для нагрева нити;
5 — источник постоянного тока для измерительной цепи; 6 — транзисторный ключ

Полученные результаты коррелируют со значениями интегральной степени черноты, найденными по формуле Девиссона и Уикса [1].

Литература

1. Шейдлин А.Е. Излучательные свойства твердых материалов. Справочник. М: Энергия, 1974, 472 с.

А.А. Федоренко, студ.;
рук. Ю.А. Геллер, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПРИ ВЫСОКОЙ НАРУЖНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Обеспечение микроклимата помещений с минимальным привлечением инженерных систем возможно при улучшении ограждающих конструкций. В проектировании ограждающих конструкций учитывается множество факторов, однако, нормативная документация направлена, в основном, на сбережение тепла, а не на защиту от нагрева от попадания прямых солнечных лучей. Предполагается расчет и сравнение существующих вертикальных ограждающих конструкций в условиях высокой наружной температуры в южных регионах страны и во время летнего периода, что также в условиях глобального потепления, повышает актуальность рассматриваемой темы.

Проведенные расчеты и численные эксперименты позволят оптимизировать ограждающие конструкции для регионов с высокой годовой температурой, а также попытаться составить конструкции, предназначенные для обеспечения необходимой температуры внутренней поверхности ограждений для южных регионов. Для реализации работы на основе существующих методик планируется тестовая программа для полуавтоматического расчета параметров ограждающих конструкций с учетом параметров среды и слоев, опираясь на существующие параметры материалов и параметров сред, приведенных в литературе.

Цель работы: Сравнение влияния температур наружного воздуха на температуру помещений, сравнение влияния на это различных применяемых конструкций и сравнение их характеристик, а также выбор наиболее оптимальной из них для применения в теплых регионах или теоретическая разработка конструкции, подходящей для климата с высокой средней годовой температурой.

Материалы и методы: Проведен расчет основных параметров окружающей среды рассматриваемых населенных пунктов, а также различных конструкций, наиболее распространенных в стране по данным, найденным в открытых источниках. По сводам правил, приведенных в источниках, проведено сравнение ограждающих конструкций.

Литература

1. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

*Я.Д. Лагонская, Н.А. Гончарова, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТООТВОДЧИКОВ С ТОЛСТОСТЕННЫМ ЗАКРЫТЫМ ПОПЛАВКОМ И ИНВЕРСНЫМ КЛАПАННЫМ УЗЛОМ

От надежности работы конденсатоотводчиков, устанавливаемых за пароиспользующими теплообменными устройствами и предназначенными для автоматического выпуска из устройств образующегося конденсата, зависит эффективность использования пара. Наиболее универсальными среди всех известных типов конденсатоотводчиков являются поплавковые. Их работа характеризуется низкой надежностью из-за повреждаемости тонкостенных поплавков и сопровождается «прикипанием» клапана к посадочному седлу при перерывах в процессе функционирования. Данных недостатков не имеют конденсатоотводчики с закрытым толстостенным тонущим поплавком и инверсным клапанном узлом с размещением сферического клапана и посадочного седла за клапанном отверстием (патенты РФ № 2441182, № 2387918, № 2362944, № 2246066, № 32570).

В работе приведено описание конструкций и работы предложенных новых конденсатоотводчиков, анализируются основные их характеристики для различных условий работы, приведена методика расчета пропускной способности инверсного клапанного узла, основанная на использовании полученных опытных связей между конструктивными и режимными параметрами узла, выполненного по типу кольцевой трубы Вентури.

Разработанные конденсатоотводчики прошли длительные промышленные испытания на многих предприятиях и показали высокую надежность и эффективность работы в широких интервалах расходов и давлений пропускаемого конденсата [1]. Полученные данные дают основание рекомендовать предложенные новые конденсатоотводчики к широкому их использованию на практике.

Авторы работы участвовали в разработке методики расчета конденсатоотводчиков с закрытым тонущим поплавком и инверсным клапанном узлом, в ее алгоритмизации и составлению расчетной программы, верификации программы, в проведении расчетов по программе, анализу и обобщению полученных расчетных результатов.

Литература

1. Печенегов Ю.Я., Косов А.В., Косова О.Ю. Фазоразделяющие устройства с инверсным клапанном узлом // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 2. С. 16–19.

*Н.С. Тимонин, студ.; Р.Д. Адакин, асп. (ЯрГАУ);
рук. Д.А. Долинин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В хлебопекарном секторе печи являются крупнейшим источником потребления энергии, поэтому важно решать вопрос потенциала энергосбережения с целью экономии природно-энергетических ресурсов.

Существующие хлебопекарные печи, которые в основном используют в качестве энергоносителя электроэнергию обладают рядом преимуществ, таких как надежность, высокий коэффициент полезного действия, удобство установки и использования устройства. Однако главным недостатком является высокая эксплуатационная стоимость.

Для устранения данного недостатка предлагается заменить в печи конструктивный элемент — трубчатый электронагреватель на теплогенератор [1], работающий на природном газе. Сжигаемый природный газ поступает в теплогенератор и посредством поверхностного теплообмена передает теплоту воздуху, идущему на выпекание хлебобулочных изделий.

Разработана и реализована в программном пакете ANSYS математическая модель теплогенератора (рис. 1), позволяющая определить температуру воздуха на выходе из теплогенератора, которая в свою очередь является критерием для выпекания качественных хлебобулочных изделий.

Данная хлебопекарная печь способна работать с такими же производственными объемами, как и печь, работающая на электричестве, но уже с более низкой стоимостью обслуживания.

Предложенная установка позволяет экономить на энергоносителе до 62% в год.

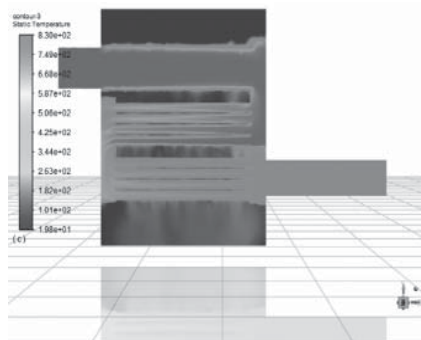


Рис. 1. Температурное поле воздуха и дымовых газов

Литература

1. **Адакин, Р.Д.** Патент № 161267 Российская Федерация, МПК F24Н 3/02(2006.01). Теплогенератор : № 2015113830/03: заявл. 2015.04.14: опубл. 2016.04.20 / Дмитренко В.П., Адакин, Р.Д. // — 5 с. : ил. — Текст : непосредственный.

*Я.В. Исаев, В.А. Зайцев, студенты;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУМЭИ)*

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАТАРЕИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЛЕКСА АУТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Энергоустановки на водородно-воздушных топливных элементах в последние годы активно разрабатываются и используются для различных применений, прежде всего на транспорте (вилочные погрузчики, автомобили), для энергоснабжения потребителей (до 10 мВт), также резервных источников энергии. Несмотря на высокий КПД таких энергоустановок, отсутствие токсичных выбросов, ограничение их более широкого использования связаны с отсутствием доступного и дешевого водорода. Вместе с тем, если водород генерируется из возобновляемых источников энергии там, где он затем используется, то это может дать существенные преимущества при энергоснабжении удаленных объектов децентрализованного энергоснабжения. В данной работе производится расчет схемы автономного энергоснабжения потребителя с высоким потенциалом ветровой энергии, которая не использует привозное органическое топливо, но обеспечивает не только электроснабжение, но и теплоснабжение за счет преобразования избытка электроэнергии парка ветрогенераторов в электрических бойлерах и водородных конденсационных котлах [1].

Важный элемент такой схемы — это энергоустановка на водородно-воздушных топливных элементах, которая за счет потребления накопленного водорода обеспечивает энергоснабжение в периоды слабого ветра, его отсутствия, а также обеспечивает резервное энергоснабжение.

В данной работе проведен расчет параметров батареи топливных элементов альтернативной схемы энергоснабжения исходя из найденного баланса генерируемой электрической энергией и потребляемой электрической и тепловой энергией в годовом разрезе. После расчета энергетических и геометрических параметров, проведено 3-D моделирование биполярной пластины батареи фильпрессой конструкции водородно-воздушного топливного элемента с жидкостным охлаждением, определены геометрические размеры основных и предложена ее оригинальная конструкция.

Литература

1. **Нефедкин С.И.** Автономные энергетические установки и системы: учебное пособие / С.И. Нефедкин. — М.: Издательство МЭИ, 2018. — 220 с. ISBN 978-5-7046-1847-8

*Б.К. Лысенко, студ.;
рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООХЛАЖДЕНИЯ ДЫМОВЫХ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЛОАГРЕГАТОВ

Основные тепловые потери котлоагрегатов, как водогрейных, так и паровых, — тепловые потери с уходящими дымовыми газами. Дымовые газы уходят из котлов в атмосферу с высокой температурой, вызванной намеренным недоохлаждением, с целью предотвращения конденсации водяных паров из газов на хвостовых поверхностях котла и в дымовой трубе. С другой стороны, доохлаждение дымовых газов является нетривиальной задачей в ряде случаев: часто потенциал нагреваемой жидкости выше, чем потенциал охлаждённых дымовых газов. При всех факторах выше, доохлаждение дымовых газов — это способ значительно увеличить эффективность работы котлоагрегатов.

Повышение эффективности можно производить не только на проектируемых котлоагрегатах, но и на работающих, при помощи доустановки теплообменника за котлоагрегатом.

Работа представляет собой часть исследования эффективности внедрения технологий доохлаждения дымовых уходящих газов, функционирующих водогрейных котельных.

Трудами А.В. Ефимова, А.А. Кудинова подтверждается целесообразность таких технологий, ими описана эффективность при установке таких теплообменников, эффективность доходит до 25%.

В работе проведён анализ различных котельных с объектами теплоснабжения.

Составлена компьютерная программа, автоматически рассчитывающая эффективность и прочие сопутствующие параметры, при установке оборудования, утилизирующего теплоту дымовых газов.

Получена средняя за сезон в средней полосе России продолжительность работы утилизационной схемы, равная половине отопительного сезона. Средние характеристики работы котельных: температуры теплосети начала доохлаждения дымовых газов, расходы по газо-воздушным трактам (газов, конденсата), а также дополнительная экономия топлива за отопительный сезон, равная 20%.

Эта работа открывает следующий уровень: конструктивным и технико-экономическим проработки.

Литература

1. Современные технологии глубокого охлаждения продуктов сгорания топлива в котельных установках / А.В. Ефимов — Харьков : НТУ «ХПИ», 2017.
2. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Кудинов А.А., Зиганшина С.К. — Москва : Машиностроение, 2011.
3. **Извеков А.В.** Теплоснабжение жилого района города от ТЭЦ / А.В. Извеков, С.А. Семин — Москва : Издательский дом МЭИ, 2010.
4. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. — Москва : Изд. дом МЭИ, 2008.

М.В. Коваленко, студ.;
рук. Ю.А. Геллер, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ИТП С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ РАСЧЁТНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

При эксплуатации ИТП (ЦТП) зачастую сталкиваются с ситуацией, когда температура первой ступени теплообменника ГВС направляемая в магистраль к ТЭЦ не соответствует температурному графику по причине неверного определения количества пластин при проектировании, так как всё оборудование новое и работает корректно. Возникла необходимость разобраться с помощью поверочных расчётов с чем связаны данные ошибки в проектировании.

Расчёт ведется по определению всех температур на входе и выходе из 1 и 2 ступени ГВС, а так же определение площади теплообмена и количества пластин для исследуемых теплообменников ГВС в действующем ИТП по исходным данным, а так же поверочный расчёт исходя из известных данных уже смонтированного и эксплуатируемого ИТП в реальных условиях с завышенным значением температуры сетевой воды отводимой от ЦТП (ИТП) к ТЭЦ, с целью поиска и анализа ошибочных решений при проектировании. На основании поверочных расчётов можно сделать выводы о необходимости внедрения методики проверки рассчитанных, но ещё не смонтированных пластинчатых теплообменников, с целью контроля со стороны заказчика для учёта температур температурного графика и их соблюдения.

На действующих ИТП/ЦТП, где есть проблема несоблюдения температурного графика, поверочный расчёт будет актуален для оценки эффективности оборудования и обоснования замены.

Цель работы: Подготовка рабочей, несложной для использования методики поверочного расчёта, для существующих и рассчитанных сторонними подрядными организациями новых пластинчатых теплообменников, для исключения ситуации, когда новое оборудование не способно выдать необходимую температуру в расчётной контрольной точке согласно температурному графику. Материалы и методы: Проведён расчёт теплообменников первой и второй ступени ГВС, получены расчётные значения по заданным проектом данными, основное искомое значение это температура отводимой от первой ступени ГВС в сторону теплоисточника (ТЭЦ). Проведено сравнение фактического значения этой температуры с полученной при расчёте.

Литература

1. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов.
2. Строй А.Ф., Расчёт и проектирование тепловых сетей.

А.Ю. Кирин, асп.;
рук. В.Я. Губарев, к.т.н., проф. (ЛГТУ, Липецк)

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ В КАМЕРЕ ПРЯМОГО ПЛАМЕННОГО НАГРЕВА АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

Термообработка холоднокатаной стали — один из важнейших процессов для нанесения высококоррозионностойких металлических покрытий. Цинк имеет самую низкую удельную стоимость и обеспечивает отличную защиту от коррозии практически во всех условиях эксплуатации.

В настоящее время повышение энергоэффективности является одной из ключевых задач крупных предприятий. В частности, на металлургических производствах существуют большие потери энергии из-за неэффективного использования выработанной теплоты, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат [1].

В данной работе в качестве предмета исследования выбрана камера прямого пламенного нагрева (КППН) агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ). В ней сжигается более 80% природного газа от всего объёма потребления агрегата.

Целью исследования является повышение эффективности работы АНГЦ за счёт уменьшения удельного расхода природного газа на производство металла. Задачи исследования, выполненные в рамках данной работы:

1. Разработана методика расчёта теплообменных процессов в КППН АНГЦ, основанная на тепловом балансе прокатной полосы (1):

$$\Delta Q_M = \Delta Q_{Г,М}^R + \Delta Q_{Г,М}^\alpha + \Delta Q_{К,М}, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{Г,М}^R$, $\Delta Q_{Г,М}^\alpha$, $\Delta Q_{К,М}$ — тепловые потоки: лучистый от газа на металл, конвективный от газа на металл и лучистый от кладки на металл.

2. На основании методики разработана и верифицирована тепловая модель агрегата, позволяющая рассчитывать температуры обрабатываемого металла, атмосферы и кладки печи по всей длине КППН в зависимости от типа сортамента, расходов газа и воздуха по зонам печи.

В итоговой работе на основании разработанной и верифицированной тепловой модели АНГЦ будут оптимизированы существующие тепловые режимы в КППН с точки зрения эффективности использования топлива.

Литература

1. **Бавыкин М.А., Кирин А.Ю.** Определение коэффициентов теплоотдачи при взаимодействии потока газа с полосой в зоне прямого пламенного нагрева АНГЦ // Тр. 8-й Всерос. нац. конф. по теплообмену М.: МЭИ, 2022. — С. 329–330.

А.А. Терехова, студ.; К.С. Никишов, соиск.;
рук. С.В. Григорьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

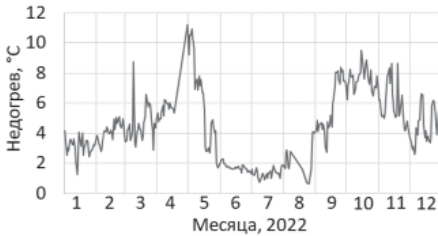


Рис. 1. Изменение величины недогрева сетевой воды

Переход от пленочного к капельному режиму конденсации за счет гидрофобизации функциональной поверхности способствует повышению эффективности теплообмена в конденсационных установках. Известно, что формирование мономолекулярного слоя поверхностно-активных веществ, например, октадециламина, который широко применяется для консервации теплоэнергетического обо-

рудования, на внешней стороне трубок конденсатора позволяет повысить коэффициент теплопередачи на 50%, а коэффициент теплоотдачи по паровой стороне до 2-х раз [1]. Однако, на сегодняшний день отсутствуют результаты исследований по влиянию ОДА на режим конденсации при атмосферном давлении.

В данной работе изучен сетевой подогреватель типа ПСГ-2300, установленный на одной из ТЭЦ ПАО «Мосэнерго». Собраны данные за 2022 год и проведен расчет основных показателей тепловой эффективности: коэффициент теплопередачи и степень недогрева.

Значение коэффициента теплопередачи, рассчитанного на основе предоставленных данных, изменяется в диапазоне от 1 кВт/(м²·К) в летний период времени, до 3 кВт/(м²·К) в отопительный период.

Оценка тепловой эффективности сетевого подогревателя производится также по величине недогрева сетевой воды до температуры насыщения пара при соответствующем его давлении в подогревателе. На рисунке 1 представлен график изменения величины недогрева в течение 2022 года в сетевом подогревателе ПСГ-2300. Из рисунка 1 видно, что в период отопительного сезона величина недогрева составляет 10°C, а среднее значение недогрева около 5°C.

Увеличение коэффициента теплопередачи на 50% за счет модификации поверхностей нагрева с паровой стороны на основе применения ПАВ-технологии позволит снизить недогрев в сетевом подогревателе до 1,6°C, что существенно повысит тепловую эффективность ПСГ.

Литература

1. Куршаков А.В., Рыженков А.В., Бодров А.А., Рыженков О.В., Патакин А.А., Чернов Е.Ф. Интенсификация теплообменных процессов в конденсаторах паровых турбин с использованием поверхностно-активных веществ // Теплоэнергетика, №11, 2014. с. 16–20.

*П.С. Басова, В.А. Бодина, А.Ф. Волохов, студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МИКРОКАНАЛЬНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВИДЕОКАРТ И ПРОЦЕССОРОВ

Проблема перегрева мощных видеокарт и процессоров становится всё более актуальной. Востребованность в поиске новых решений для охлаждения устройств с высокой плотностью теплового потока растёт, так как отвод тепла воздушным и однофазным жидкостным охлаждением становится недостаточно эффективным. Перспективным решением проблемы является использование двухфазной системы охлаждения с микроканальным испарителем и принудительной прокачкой жидкости.

Проектирование микроканального испарителя — основной этап разработки системы охлаждения. Трёхмерная модель (рис. 1), спроектирована таким образом, чтобы обеспечить равномерность потока жидкости внутри испарителя. Для этой цели проведены численные расчеты и получена гидродинамическая картина течения. На основе анализа литературы были определены оптимальные размеры микроканалов: высота канала (H) — 1,5 мм, толщина ребер (b) и межреберное расстояние (c) по 200 мкм. Для проведения экспериментальных исследований были напечатаны шесть образцов испарителя из бронзы с помощью аддитивных технологий: пять образцов с высотой ребер 0,5; 0,8; 1; 1,2 1,5 мм и один образец без ребер. В ходе разработки модели были также учтены особенности 3D печати и был подобран режим печати, обеспечивающий целостность конструкции образца. В дальнейшем будет исследоваться влияние высоты ребер и типа микроканальной системы на эффективность теплоотвода при кипении.

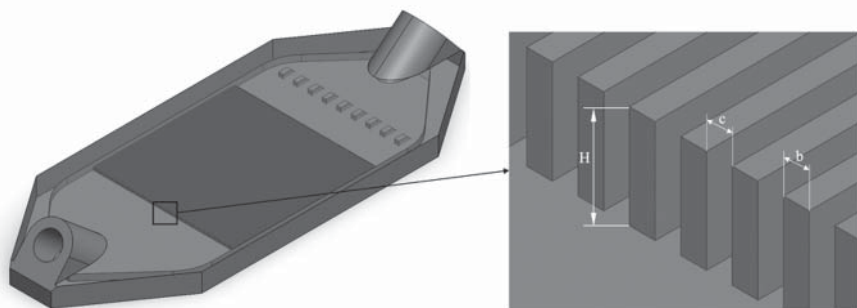


Рис. 1. Трёхмерная модель микроканального испарителя

Литература

1. **Чиннов Е.А., Кабов О.А.** Особенности двухфазного течения в прямоугольном микроканале // Письма в Журнал технической физики, 2010. Т. 36. № 10. С. 52–58.

*П.С. Басова, В.А. Бодина, А.Ф. Волохов, студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.ф.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КИПЕНИЕ ЖИДКОСТИ В МИКРОКАНАЛАХ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОТВОДА ТЕПЛОТЫ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Проблема терморегулирования работы электронных устройств не теряет своей актуальности вследствие миниатюризации электроники. Устройства мощной микроэлектроники и высокопроизводительные компьютеры требуют отвода высоких плотностей тепловых потоков. Это можно обеспечить использованием микроканального испарителя с принудительной прокачкой жидкости в системе охлаждения.

Для экспериментальных исследований спроектирован микроканальный испаритель с оптимальными размерами каналов. Геометрия микроканала определяет поведение потока при кипении, динамику пузырьков, структуру потока и процесс теплопередачи. Были проведены численные расчеты с заданным значением массового расхода на входе и получена гидродинамическая картина течений потока во внутренней полости испарителя (рис. 1) для оценки равномерности распределения потока жидкости, потерь, возникающих из-за изменения скорости и перепада давления.

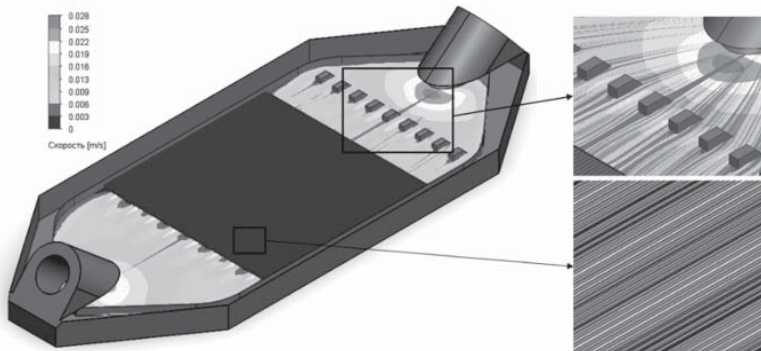


Рис. 1. Картина течений в микроканалах

Литература

1. Дзюбенко Б.В., Кузма-Кичта Ю.А., Леонтьев А.И. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах // М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИН-ФОРМ», 2008. — 532 с.

Д.Л. Безбородов, соиск.;
рук. И.Н. Салмаш, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА В РАБОТЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При проектировании подавляющего числа крупных городов в качестве основного источника тепловой энергии для покрытия тепловых нагрузок выбираются котельные или теплоэлектроцентрали.

За последние 20–30 лет у конечных потребителей тепловой энергии значительно скорректировались запросы к параметрам микроклимата, а также и набор установленного оборудования, которое потенциально может оказать влияние на температуру внутри помещений.

В работе рассмотрена актуальная проблема для современных городов, заключающаяся в разработке совместных режимных параметров работы централизованного источника тепловой энергии и энергоёмких потребительских систем, основанных на теплонасосных установках (кондиционирование и вентиляция), резервных систем генерации тепловой и электрической энергии [1], систем аккумуляции [2] и регенерации тепла удаляемого воздуха в жилых и производственных помещениях.

Авторами проведен анализ и предложены подходы по разработке технических параметров, позволяющих согласовать режимы совместной работы централизованного источника тепла и энергооборудования потребителей, что приводит к появлению распределённой системы производства энергоресурсов.

Использование режима совместной выработки тепловой энергии является перспективным и позволит повысить как качество работы системы теплоснабжения, так и надёжность её работы.

Литература

1. **Литвинов, О.В., Колесниченко Н.В., Безбородов Д.Л.** Распределённая выработка электрической энергии на базе малых когенерационных установок // *Металлургия XXI столетия глазами молодых : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов: сборник докладов, Донецк, 26–27 мая 2020 года / Редколлегия: С.М. Сафьянц (пред.) [и др.]*. — Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. — С. 301–304.
2. **Колесниченко Н.В., Сафьянц С.М., Бирюков А.Б., Литвинов О.В.** Обоснование целесообразности использования бака-аккумулятора для регулирования отопительной нагрузки газопоршневой мини-ТЭЦ // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. — 2021. — № 1. — С. 21–30. — DOI 10.17588/2072-2672.2021.1.021-030.

М.Т. Орехова, студ.;
рук. Д.А. Коновалов, д.т.н., проф. (ВГТУ, Воронеж)

К ОЦЕНКЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОХЛАЖДАЮЩИХ КОНТУРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Современные энергетические системы характеризуются интенсивной тепловой нагрузкой, которую необходимо отводить для штатного функционирования [1]. Нивелирование избыточной теплоты достигается различными типами охлаждающих устройств. Наиболее часто применяются системы охлаждения с промежуточным теплоносителем [2], что позволяет существенно повысить эффективность теплосъема. Проведение параметрического анализа таких систем охлаждения в различных режимах, включая нестационарные, представляет теоретический и практический интерес для оценки величины изменения проектных показателей.

В работе рассматривалась расчетная схема, представленную на рис. 1 в предположении, что тепловоспринимающий и теплоотдающий компоненты относятся к элементам с гидродинамикой по теплоносителю, соответствующей идеальному вытеснению, а теплота в них переносится конвективным способом без учета термосопротивлений с равномерным распределением источников и стоков.

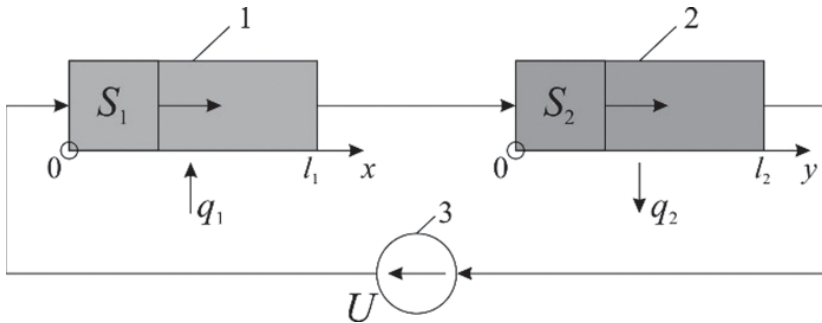


Рис. 1. Структурная схема конвективной системы охлаждения с промежуточным теплоносителем:

1 — тепловоспринимающий элемент; 2 — теплоотдающий элемент; 3 — насос

В принятой модели функционирования замкнутого циркуляционного контура теоретически подтвержден автоколебательный режим температуры теплоносителя. Показана возможность определения «осредненной» температуры теплоносителя на выходе из тепловоспринимающего элемента и указан критерий функционирования систем в стационарных условиях, с определением времени релаксации.

Литература

1. Дзюбенко Б.В. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах: монография / Б.В. Дзюбенко, Ю.А. Кузма-Кичта, А.И. Леонтьев, И.И. Федик, Л.П. Холпанов. — М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008. — 532 с.
2. Bejan A. Convection heat transfer. — NY: John Wiley&Sous, 2004. — 673 p.

Д. Алхатиб, асп.; Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В СПЛЮСНУТЫХ ТРУБАХ

В данной работе исследуется пленочная конденсация пара в сплюснутых трубках в зависимости от соотношения сторон (ширины и высоты) и угла поворота относительно продольной оси, рис. 1а. Выведено эволюционное уравнение толщины тонкого слоя конденсата на внутренней поверхности сплюснутой трубки. Проведена дискретизация уравнения для расчета распределения толщины пленки конденсированного пара методом конечного объема. С помощью разработанной математической модели изучено влияние соотношения сторон и угла поворота относительно продольной оси на интенсивность конденсации. Посредством численных расчетов исследовано распределение пленки конденсата внутри трубок с различными параметрами. Полученные профили пленки сконденсировавшейся жидкости позволяют определить условия, при которых достигается интенсификация теплообмена и увеличивается эффективность теплообменников со сплюснутыми трубками. Рассматривается взаимодействие различных физических процессов, которые приводят к увеличению теплопередачи. В качестве рабочей жидкости использована вода. С помощью численных расчетов обнаружено, что конденсация пара в сплюснутых трубке при соотношении сторон 6 и угле поворота 90°С коэффициент теплоотдачи увеличивается до 60% по сравнению с круглой трубой, Рис. 1б.

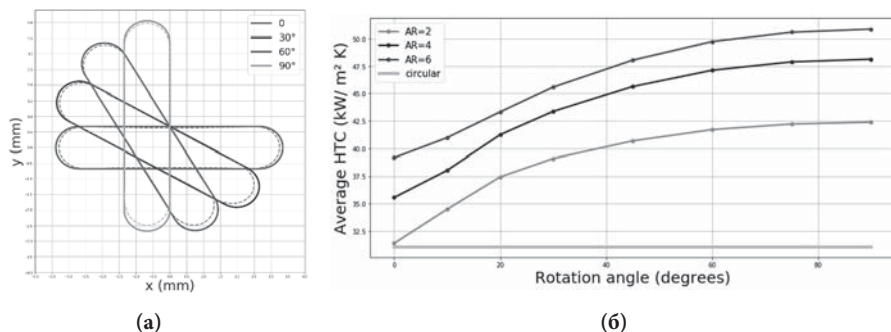


Рис. 1. Результаты; (а) распределение пленки в трубе; (б) КТО в зависимости от угла поворота трубы

Литература

1. Marchuk I.V., Lyulin Yu.V., Kabov O.A. Theoretical and Experimental Study of Convective Condensation inside Circular Tube // Interfacial Phenomena and Heat Transfer. 2013 V. 1(2), pp. 153–171.

Направление X
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
Power engineering machinery

Руководитель направления:
Директор института
энергомашиностроения
и механики НИУ «МЭИ»
к.т.н. Митрохова Ольга Михайловна

Секция 51

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИГАТЕЛИ

Power engineering installation and engines

Председатель секции: д.т.н., профессор Росляков Павел Васильевич

Секретарь секции: д.т.н., доцент Богомолова Татьяна Владимировна

*Д.Г. Соколов, студ., К.А. Бердюгин, асп.;
рук. В.А. Тищенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЖНО-ПАРОВЫХ ПОТОКОВ

В последних ступенях паровых турбин движется влажно-паровой поток со сложной структурой распределения параметров двухфазной среды. При проведении экспериментальных исследований в элементах проточных частей турбомашин возникает множество проблем, связанных с полидисперсным характером среды.

Параметры капель варьируются в широком диапазоне и зависят от различных факторов. Эффективным инструментом для определения их характеристик являются системы лазерной диагностики потоков, реализующих методы PIV, PTV. Они определяют поля скоростей частиц жидкой фазы по парам фотографий капельных потоков, полученных посредством засветки влажно-парового потока лазером.

Применение методов PIV/PTV в их исходной форме для условий влажно-паровых потоков сопряжено со сложностями: водяные пленки на оптических стеклах, интерференция и дифракция лазерного ножа, высокая концентрация капель и другие. Это снижает качество получаемых фотографий и увеличивает погрешность измерений.

В работе предложен подход по обработке фотографий и определению полей скоростей капель, основанный на нейронных сетях. Для этого решен вопрос с формированием обучающего датасета, требуемого для реализации модели метода глубокого машинного обучения — подготовлен подход по генерации фотографий капельных потоков, для которых определены все положения капель. В основе нейронной сети применена архитектура “Encoder-Decoder” с подходом R-CNN [1]. В ней входные данные подаются через сеть кодировщика, который выделяет важные признаки. Числовое представление затем передается в сеть декодера. Декодер генерирует выходные данные, с учетом обратных связей, соединяющими скрытые слои нейронной сети декодера с соответствующими им слоями кодировщика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) по гранту № 23-19-00445.

Литература

1. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors.» Huang J, Rathod V, Sun C, Zhu M, Korattikara A, Fathi A, Fischer I, Wojna Z, Song Y, Guadarrama S, Murphy K, CVPR 2017.

Н.А. Изъюров, студ.;
рук. И.А. Кривошеев, д.т.н., проф. (УУНИТ, Уфа)

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ СМИТА

Предложена методика определения оптимальных параметров турбины на начальном этапе ее проектирования с помощью диаграммы Смита, представленной в координатах $\overline{L}_u - c_a^2$.

На прямых линиях, проходящих через начало координат, лежат рабочие точки ступени турбины «вт», «ср» и «к» координаты которых соответствуют параметрам турбины во втулочном, среднем и концевом сечении.

Расположение точек определяется исходя из принимаемых в первом приближении параметров ступеней, таких как степень реактивности, угол выхода потока, коэффициент аэродинамической нагруженности (коэффициента Парсонса).

Среднемассовое значение КПД определяется по выражению:

$$\langle \eta_z^* \rangle \approx 0,5\eta_{z_{cp}}^* + 0,25(\eta_{z_{вт}}^* + \eta_{z_{к}}^* \bar{\eta}_{заз}),$$

где $\bar{\eta}_{заз} = 0,99$ — поправка на потери в радиальном зазоре.

С учетом найденного КПД η_z^* ступени определяется значение показателя σ_z в последней ступени турбины:

$$\sigma_z = \left[1 - \left(\frac{1}{\eta_z^*} - 1 \right) L_z / (c_p T_T^*) \right]^{\frac{k}{k-1}}.$$

Полагая что приращения энтропии и значения σ одинаковы в ступенях в многоступенчатой турбине $\sigma_T = (\sigma_z)^z$. Здесь z — число ступеней.

Отсюда КПД многоступенчатой турбины, который требуется максимизировать:

$$\eta_T^* = 1 / \left(1 + \left(1 - \sigma_T^{\frac{k-1}{k}} \right) c_p T_T^* / L_T \right).$$

Это позволяет определить оптимальное число ступеней и распределение параметров по ступеням.

Литература

1. **Копелев С. З., Тихонов Н. Д.** Расчёт турбин авиационных двигателей. — М.: Машиностроение, 1974. — 267 с.
2. **Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Симонов Н.Б.** Выбор и оптимизация основных параметров турбокомпрессоров. — Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; — Уфа, 2023.
3. **Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т.** Теория и расчет авиационных лопаточных машин. 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1986.

В.А. Шелопаев, асп.;
рук. П.В. Росляков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТУ

В рамках выполнения Парижского соглашения во многих странах мира, включая Россию, проводится работа по сокращению выбросов парниковых газов. Одной из основных промышленных отраслей — антропогенным источником парниковых газов является теплоэнергетика. В качестве одной из мер по снижению выбросов углекислого газа в теплоэнергетике может быть использован переход с природного газа на сжигание водородсодержащих газов.

Целью работы являлась разработка камеры сгорания газотурбинной установки, отвечающей требованиям пятого поколения, в которой возможно сжигать как природный газ, так и водородсодержащие газы с широким диапазоном изменения концентрации водорода в них.

Камера сгорания проектировалась исходя из следующих параметров: электрическая мощность ГТУ 150 МВт, электрический КПД 40%, тепловая мощность ГТУ 375 МВт, количество камер сгорания 20 штук, тепловая мощность одной камеры сгорания 18.75 МВт. Тип камеры сгорания — встроенная, секционная, одnogорелочная с горелкой предварительного смешения, обеспечивающей кинетический режим горения. Диаметр корпуса камеры сгорания 0.40 м, длина 1.3 м.

Многовариантные теплогидравлические расчеты протекания рабочих процессов в камере сгорания предложенной конструкции были выполнены в программе «Расчёт камеры сгорания ГТУ». Были проведены варианты расчёты, в ходе которых изменялось содержание водорода в исходном ВСГ и избыток воздуха в первичной зоне, а также нагрузка (100% и 50%).

Выполненные в первом приближении расчетные оценки показали, что с точки зрения балансовых уравнений нет теоретических препятствий для сжигания ВСГ в предложенной конструкции КС ГТУ. Полученные результаты позволяют утверждать, что данная конструкция камеры сгорания может работать надёжно при любой доли водорода в горючем от 0% до 100% при нагрузках 100% и 50%. С ростом содержания водорода в топливе снижается массовая доля углекислого газа и массовый расход газов, что позволяет снизить выброс парниковых газов в атмосферу.

Проведенное исследование показало принципиальную возможность создания современной ГТУ работающей на ВСГ с различной долей водорода. Личный вклад автора заключается в проектировании конструкции камеры сгорания, проведении расчетных исследований и анализе полученных результатов.

Е.С. Суворов, асп.; рук. А.Г. Бойцов, д.т.н., доцент (МАИ, Москва)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД

Сварка трением имеет ряд существенных особенностей, позволяющих широко применять ее в процессах ремонта и восстановления деталей и узлов ГТД и энергетических установок. К ним относятся высокая прочность получаемых соединений, возможности по наплавке, уменьшению трещин и других дефектов, отсутствие или малая величина деформаций от остаточных напряжений, многообразие схем и приемов сварки, пайки и наплавки [1].

В докладе приводятся результаты анализа современного состояния применения процессов и технологий сварки трением для ремонта, технологических аспектов обеспечения требований качества при восстановлении деталей и узлов ГТД [2], а именно:

- особенности и области применимости различных методов и технологий сварки трением для ремонта и восстановления ГТД;
- применение сварки трением для наплавки и улучшения структуры и прочностных свойств материалов, в аддитивных технологиях;
- анализ экономических и экологических плюсов использования сварки трением, сокращение длительности ремонтных операций;
- примеры успешной реализации сварки трением в авиационной и энергетической промышленности;
- обзор технических аспектов, включая специализированное оборудование, материалы, условия и режимы;
- демонстрация успешных кейсов использования сварки трением для восстановления компонентов ГТД, включая лопатки, крепежные и уплотнительные элементы, корпуса, моноколеса и крыльчатки;
- анализ технических и практических проблем, сложность автоматизации процесса;
- значимость и перспективы развития технологий сварки трением для восстановления деталей ГТД;
- ключевые выводы, вытекающие из анализа применения сварки трением для восстановления и ремонта деталей и узлов ГТД.

Литература

1. **Елисеев Ю.С., Бойцов А.Г., Крымов В.В., Хворостухин Л.А.** Технология производства авиационных газотурбинных двигателей Машиностроение. 2003. С. 512.
2. **Patsias, S., & Raman, R.K.S. (2013).** State of the art in repair technologies for gas turbine components. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 135(4), 041301.

И.А. Никитин, асп.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц.;
Б.Н. Петрунин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯЧЕИСТО-ЛУНКОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

При эксплуатации паровых турбин, особенно в переходных режимах, в штатных уплотнениях неизбежны задевания ротора о статор и соответствующий износ гребней уплотнений, что, естественно, приводит к увеличению потерь от утечки [1]. В этой связи применяют так называемые ячеистые (сотовые) уплотнения, износ которых при эксплуатации позволяет безопасно и экономично их использовать.

В данной работе проведено исследование расходных характеристик уплотнения с ячеистым статором. Ротор имел лунковую поверхность с диаметром $d=10$ мм и глубиной $h=1$ мм.

При обработке экспериментальных данных были построены зависимости расхода утечки от перепада давлений на проточную часть уплотнения $G=f(\epsilon)$ (рис. 1).

При $\epsilon=0,9$ расход утечки уплотнения с лунковым ротором уменьшился на 5,7% по сравнению с гладким, а для перепада давлений $\epsilon=0,85$ это уменьшение составила уже 6%.

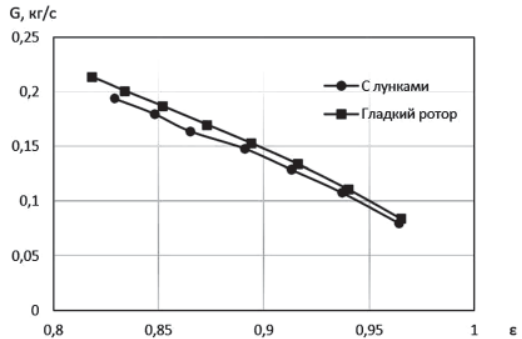


Рис. 1. Расходная характеристика прямоугольно-ячеистого уплотнения с прямыми радиальными пластинами с лунковым и гладким ротором

Литература

1. Дмитриев, С.С. Экспериментальные исследования расходных характеристик разношаговых многогребенчатых уплотнений / С.С. Дмитриев, Б.Н. Петрунин, М.Э.А.Э. Ахмед // Теплоэнергетика. — 2021. — № 4. — С. 47–54.

Д.О. Мишин, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМПРЕССОРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГТУ С УЧЕТОМ ВПРЫСКА ВОДЫ ПЕРЕД ПРОТОЧНОЙ ЧАСТЬЮ

В связи с постоянным ростом спроса на электроэнергию во всем мире, все большее внимание уделяется усовершенствованным газотурбинным циклам из-за их потенциала высокой эффективности и низких удельных инвестиционных затрат. Газовые турбины с испарительно-охлаждаемым сжатием имеют потенциал, эквивалентный потенциалу комбинированных циклов, но с более низкой начальной стоимостью.

Впрыск капель воды во впускные каналы компрессора в настоящее время широко используется в качестве средства повышения мощности промышленных газовых турбин. Основными механизмами, ответственными за увеличение мощности, являются снижение работы компрессора и увеличение массового расхода, оба из которых достигаются за счет испарительного охлаждения перед компрессором и внутри него. Установлено, что данный метод проверен и эксплуатируется на более чем 40 мощных ГТУ, также испытания компрессоров ГТУ с впрыском воды были проведены в «Машпроекте» (на ГТ-17000) и в ММПП «Салют» [1].

В данной работе разработана методика, по которой рассчитан прототип компрессора ГТУ SGT-600 Siemens с учетом теплофизических свойств наружного воздуха при впрыске воды перед ВНА, позволяющая изменять влажность окружающего воздуха на входе в компрессор. Рассчитан расход впрыскиваемой воды, изменение температуры после впрыска и другие параметры. Дана оценка времени испарения капель в проточной части компрессора на основе формулы, зависящей от диаметра капель и удельной влажности.

В расчете оценивается прототип компрессора выбранной установки, который имеет 10 ступеней и примерную длину около 3-х метров. Заданный диаметр капель составил 10 мкм, при котором рассчитанное время испарения равно 0,0051 секунд, что примерно соответствует испарению капель за 1 ступенью компрессора. Исходя из оценки времени испарения капель в прототипе компрессора выбранной установки, можно сделать вывод о возможности применения данной методики для дальнейших расчетов, связанных с отставанием испарения капель в компрессоре ГТУ.

Литература

1. **Беляев В.Е., Середа С.О., Гельмедов Ф.Ш.** Результаты испытаний компрессора установки МЭС-60 с впрыском воды в проточную часть // Газотурбинные технологии. 2005, Май-июнь. С. 16–20.

А.М. Купчинский, студ.;
рук. Г.А. Рябов, д.т.н., доц. (ОАО ВТИ, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТРУЙ ВТОРИЧНОГО ВОЗДУХА В КОТЛЕ С КИПАЩИМ СЛОЕМ

Тепловые электростанции — самый распространённый способ добычи электроэнергии в России. Доля её выработки — 69% от всего производства электроэнергии. Возможности сжигания различных видов топлива с каждым годом увеличиваются, но также и ужесточаются нормы на выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду. Использование котлов с кипящим слоем, в которых возможно сжигать широкий спектр твердого топлива (включая биотопливо), позволяет заметно снизить выбросы оксидов азота и серы. Поэтому тема актуальна.

В котле с кипящим слоем очень важно правильно осуществить подачу воздуха для сжигания топлива. Для более эффективного сжигания используется двухступенчатая схема подачи воздуха. Первичный воздух подается снизу топки из воздухораспределительной решетки, вторичный — из сопел, расположенных на боковых стенах топки на высоте 4–5 м. Для эффективной работы подачи вторичного воздуха необходимо оценить глубину проникновения струй для наилучшего смешивания с основным потоком.

Проводились варианты расчёты для различных режимов подачи воздуха. Расход первичного воздуха варьировался от 40 до 60 $\text{нм}^3/\text{ч}$ с шагом 10 $\text{нм}^3/\text{ч}$, расход вторичного воздуха соответственно — от 60 до 40 $\text{нм}^3/\text{ч}$ с шагом 10 $\text{нм}^3/\text{ч}$. В зависимости от расхода первичного воздуха менялась и температура слоя: от 700°C до 850°C с шагом 50°C. Сопло имеет прямоугольное сечение с шириной 100 мм и высотой 350 мм.

Расчёты проводились для двух случаев: газы, подходящие к соплам вторичного воздуха, имеют минимальную и максимальную возможную плотность. При минимальной плотности принимается, что с газами уносятся только частички золы, при этом частички топлива не подбрасываются до уровня сопел. При максимальной же плотности принимается, что газы уносят все частички топлива мелкой фракции.

В результате расчёта выяснилось, что при минимальной плотности потока струи вторичного воздуха полностью проникают в основной поток, а при максимальной — нет. Это может повлечь недожог топлива. В связи с чем была рассмотрена другая конструкция сопла: с шириной 200 мм и высотой 350 мм. В этом случае обеспечивается эффективность подачи вторичного воздуха в поток при минимальной и максимальной плотности.

Практическая ценность исследования состоит в поиске оптимальной конструкции сопел вторичного воздуха, а личный вклад автора — в создании в проведении расчетов и анализе результатов.

Инь Хунсин, студ.; рук. А. Ф. Медников, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

В конце 19 века технологии создания электростанций стали внедряться в Великобритании, России, Франции, Германии, Японии и других странах. Первая электростанция (Shanghai Electric Company) Китая была основана англичанами в апреле 1882 года в Шанхае, ставшим третьим городом в мире, использующим электроэнергию для освещения. Уже в 1911 году в Китае насчитывалось 80 электростанций в Шанхае, Гонконге, Тяньцзине, Циндао, Даляне, Лушуне и других городах общей мощностью 37 МВт. К 1953 году общий объем производства электроэнергии в КНР превысил отметку в 10 миллиардов кВтч. В период с 1955 по 1979 год в КНР была построена первая гидроэлектростанция и ветряная электростанция, а также введены в строй тепловой энергоблок мощностью 200 МВт и разработанные впоследствии электрические энергоблоки мощностью 300 и 600 МВт. К декабрю 1991 года в КНР была спроектирована, разработана и установлена первая атомная электростанция Циньшань, которая положила начало истории ядерной энергетики материкового Китая. После реформы энергосистемы в 2002 году Национальная электроэнергетическая компания была разделена на две крупные электросетевые компании (Государственная электросеть и Южная электросеть) и пять крупных энергетических компаний (Huaneng, Datang, Huadian, Guodian и National Power Investment), которые были объединены и координировались правительством.

В 2022 году общая мощность производства электроэнергии в КНР достигла 8,7 трлн кВтч, из которых около 61% приходилось на выработку энергии на ТЭС, 18% на ГЭС, 9% на ВЭС, 6% на АЭС, 6% на СЭС. Проведенный анализ перспектив развития энергосистемы КНР до 2060 года показал, что к этому времени планируется снизить выработку энергии на ТЭС на 55%, на ГЭС на 4%, повысить выработку энергии на СЭС на 28%, на ВЭС на 23%, на АЭС на 5%.

Сталкиваясь с глобальными экологическими проблемами, в 2022 году председатель КНР Си Цзиньпин пообещал на 75-ой Генеральной Ассамблее ООН достичь пика выбросов углекислого газа к 2030 году и добиться нейтралитета углекислого газа и нулевых выбросов к 2060 году.

В связи с этим, в ближайшем будущем, всестороннее развитие энергосистемы КНР будет происходить в области её цифровизации и интернационализации с использованием искусственного интеллекта с последующим переходом к 2060 году к экологически чистой энергетике за счет использования солнечных и ветровых электростанций.

Е. Канисарес, студ.;
рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ДРОС

В мощных паровых турбинах после входа в двухпоточный ЦНД пар перед первой осевой ступенью должен совершить поворот на 90° , что при больших скоростях связано со значительными потерями. При повороте потока пара также наблюдается неравномерное расширение потока в первой осевой ступени. Для предотвращения этого предлагается на входе вместо осевой ступени разместить ДРОС (двухпоточную радиально-осевую ступень) [1]. Такая ступень была исследована еще в 20 веке, но пока не нашла достойного применения в отечественном турбостроении.

Применение ДРОС дает следующие преимущества:

1. ДРОС заменяет четыре осевые ступени, благодаря чему значительно сокращается длина проточной части турбины и открывается возможность сократить осевые размеры ротора или за счет освободившегося пространства уменьшить угол раскрытия проточной части для последующих осевых ступеней, возможно увеличить габариты выходного патрубка.
2. Существенно повышается КПД ЦНД турбины. Это объясняется более совершенным преобразованием энергии пара в радиально — осевой ступени, поскольку в центростремительной ступени значительная доля работы совершается за счет кориолисовых сил, а также снижением концевых потерь в сопловом аппарате.
3. Уменьшается влияние нестационарности потока, связанное с поворотом потока на 90° на входе в ступень в непрофилированной камере.

В качестве объекта модернизации выбран ЦНД паровой турбины ПГУ К-180-8,0. Проведены варианты расчеты ДРОС для формирования осевого входа в рабочие лопатки и получения приемлемых углов выхода потока в относительном движении β_2 , а также получения оптимальных параметров ступени. Располагаемый теплоперепад ДРОС при этом составляет 180 кДж/кг, а экономичность такой ступени достигает $h_{oi} = 89\%$. За счет повышенного теплоперепада ДРОС предлагается снизить теплоперепад предпоследней ступени до 70 кДж/кг и выполнить ее как ступень с повышенной сепарационной способностью. КПД ступени-сепаратора почти не снижает общей экономичности ЦНД. Он составляет $h_{oi} = 80\%$. За счет уменьшения влажности перед последней ступенью ее экономичность возрастает на 2%, а также снижается эрозионный износ рабочих лопаток. В результате значительно повышается экономичность и надежность ЦНД.

Литература

1. **Фадеев В.А.** Характеристики осевой турбинной ступени с радиальным сопловым аппаратом при полном и частичном подводе рабочего тела. Автореферат канд. диссертации, 1992 г.

М.Е. Кочетышкин, асп.; В.С. Селиончик, студ.;
рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время производство электрической энергии на 80,8% обеспечивается тепловыми и атомными электростанциями. Разработка эффективных методов снижения потерь энергии в паровых турбинах — существенный фактор, снижающий эксплуатационные издержки, связанные с производством электроэнергии.

Существующие конструкции паровых турбин обладают значительными резервами экономичности [1], использование которых позволит снизить удельный расход тепла на производство электроэнергии.

Возможными способами повышения эффективности, согласно проведенным исследованиям, являются оптимизация органов парораспределения, модернизация надбандажных уплотнений и совершенствование систем эвакуации влаги из последних ступеней цилиндров низкого давления, а на влажнопаровых турбинах АЭС и из проточной части ЦВД.

В работе рассмотрены мероприятия по повышению эффективности на примере паровых турбин в диапазоне мощности 1000–1200 МВт.

Результаты показывают, что применение усовершенствованного блока клапанов высокого давления позволяет уменьшить его гидравлическое сопротивление на величину около 0,7%, а сопротивление блока клапанов низкого давления возможно снизить на 0,1...0,6%.

Замена традиционных лабиринтных уплотнений на устойчивые к истиранию металлокерамические вставки с сепарационной способностью способна обеспечить прирост мощности турбины на 0,6...1 МВт. Также применение металлокерамики, в виду хорошей прирабатываемости, окажет положительное влияние на эксплуатационные качества турбины — уменьшится истирание гребней уплотнений.

Оптимизация системы внутриканальной сепарации в проточной части ЦВД позволит получить прибавку мощности паротурбинной установки на уровне около 1,5...1,7 МВт, а также уменьшить эрозионный износ лопаток.

Необходимо отметить, что способы повышения экономичности паровых турбин не ограничиваются рассмотренными выше.

Литература

1. **Грибин В.Г., Митрохова О.М.** Применение цифровых технологий в исследовании процессов и проектировании проточных частей паровых турбин // *Функционирование и развитие электроэнергетики в эпоху цифровизации.* — М.: Издательство МЭИ, 2021.

А.Н. Дорошенко, асп.;
рук. В.Т. Перевезенцев, к.т.н., доц. (БГТУ, Брянск)

СОТОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОБМЕНА

Увеличение температуры рабочего тела газовой турбины перед турбиной высокого давления является одним из способов повышения коэффициента полезного действия газовых турбин. Так, например, температура на входе в турбину авиационного двигателя пятого поколения достигнет 2100–2200 К. Однако температура, которую способны выдержать жаропрочные и жаростойкие сплавы, из которых изготавливаются сопловые и рабочие лопатки составляет порядка 1100 °С [1]. С целью недопущения дефектов на лопатках турбин от воздействия высокотемпературного газового потока используются различные системы воздушного охлаждения. Увеличение поверхности теплообмена является одним из способов повышения интенсивности теплообмена, что приводит к росту эффективности охлаждения лопаток. Существуют такие способы увеличения теплообменной поверхности, как оребрение поверхности [2], нанесение на поверхность сферических углублений [3], применение вихревых матриц [4] и др. Сотовую структуру по праву тоже можно считать, как одним из способов повышения интенсивности теплообмена. Эффективность интенсификации теплообмена зависит как от геометрических параметров канала, в котором устанавливалась сотовая структура, так и от относительной глубины ячеек сотовой структуры [5]. Несмотря на то, что сотовая поверхность способствует росту интенсивности процесса теплообмена, одним из недостатков в результате применения такой конструкции остается повышение гидравлического сопротивления.

Литература

1. **Du W. et al.** Heat transfer in the trailing region of gas turbines — A state-of-the-art review // Applied Thermal Engineering. — 2021. — Vol. 199. — P. 1–31.
2. **Moradi T.** Effects of wavy ribs on vortex generation and thermal-hydraulic performance in a rotating rectangular channel / T. Moradi, H. Shahbazian, M. Hoseinalipour, B. Sunden // Applied Thermal Engineering. — 2023. — Vol. 222. — P. 1–20.
3. **Zhou W.** An experimental investigation on the characteristics of turbulent boundary layer flows over a dimpled surface / W. Zhou, Y. Rao, H. Hu // Transactions of the ASME. J. of Fluids Engineering. — 2016. — Vol. 138. № 2. — P. 1–13.
4. **Oh, I.T.** Local Heat/Mass Transfer and Friction Loss Measurement in a Rotating Matrix Cooling Channel / I.T. Oh et al. // J. of Heat Transfer. — 2012. — Vol. 134 (1). — P. 1–9. — DOI : 10.1115/1.4004853.
5. **Буглаев, В.Т.** Сотовые уплотнения в турбомашинах / В.Т. Буглаев, В.Т. Перевезенцев и др., — Брянск: БГТУ, 2006. — 192 с.

Секция 52

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ, НАДЕЖНОСТИ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

Problems of technology, reliability, and designing

Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Сергей Федорович

Секретарь секции: к.т.н. Шипков Андрей Анатольевич

К.А. Заварин, студ.; рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕКЛАССИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НА ИЗГИБ БАЛКИ

Предложен новый метод решения задач теории упругости [1], который несколько отличается от традиционного. Причины создания нового подхода заключаются в том, что уравнения Навье применимы к конечному состоянию, поскольку именно в нем достигается равновесие, но в классической постановке оно считается искомым. Что бы задача была поставлена в известной области, прибегают к предположению о бесконечной близости начального и конечного состояния. Это вынужденный прием, из-за него все решения, полученные аналитическими и численными методами, считаются верными только в области бесконечно малых перемещений. В предложенном методе в этом нет необходимости, так как искомым считается начальное состояние. Такой подход позволяет несколько упростить решение.

Несмотря на уже существующие работы с применением предложенного метода, еще остаются задачи, для которых новый подход не применялся. Расширение круга задач, решенных данным методом, позволит удостовериться в его правильности и точности. Это открывает новые перспективы для применения метода в инженерных задачах и разработке новых материалов.

В рамках исследования мною была решена задача о изгибе балки, используя предложенный метод. Результаты были сравнены с решениями, полученными с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе CAE Fidesys, что позволило подтвердить точность и надежность нового метода.

Разработанный подход успешно демонстрирует свою применимость для аналитического решения задач об изгибе упругих балок. Сравнение аналитического решения с численным, полученным с помощью МКЭ в CAE Fidesys, подтверждает его эффективность. Это открывает возможности для широкого применения метода в прикладных расчетах в области машиностроения, строительства и др.

Литература

1. Дуйшеналиев Т.Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. М.: Издательство МЭИ, 2017.

К.Л. Льюнг, асп.;

рук. М.Н. Кирсанов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМУЛА ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ РЕГУЛЯРНОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ

В настоящее время в транспортной, строительной, аэрокосмической и судостроительной отраслях широко применяются плоские фермы. При рассмотрении конструкций в динамике одной из основных задач, которую необходимо изучить, является основная частота собственных колебаний. Определение наименьшей частоты вибрации является одним из важных этапов при монтаже, строительстве и эксплуатации ферменных конструкций.

Обычно интерес представляют только верхние или нижние оценки первой частоты. Полезными методами являются метод Донкерлея (для нижнего предела) или метод Рэлея (для верхнего предела). Преимущество метода Донкерлея в том, что получаемые коэффициенты относительно просты, однако, точность этого метода не очень высокая. Для некоторых сложных пространственных структур точность этого метода не является удовлетворительной. В данной работе для определения первой собственной частоты фермы использован метод Донкерлея и его упрощенный вариант. Коэффициенты, полученные этим методом, так же просты, как коэффициенты метода Донкерлея, и столь же точны, как и метод Рэлея. Суть этого метода заключается в упрощенном вычислении суммы Донкерлея. В частности, площадь кривой, ограничивающей значения парциальных частот, заменяется ее приближительным значением, рассчитанным по формуле площади треугольника или трапеции. Задача здесь — найти на ферме место узла с наибольшим прогибом от действия единичной силы, приложенной к этому узлу.

В данной работе поставлена задача вывести аналитическую зависимость верхней и нижней оценок частоты колебаний статически определенной ферменной конструкции от количества панелей. Эти методы можно использовать для аналогичных балочных, арочных и рамных ферм.

Литература

1. **Komerzan, E. Sviridenko, O.** Static deformations of the truss of a composite spatial frame. Analytical solutions. Structural mechanics and structures. 2022. 35(4). Pp. 40–48. DOI:10.36622/VSTU.2022.35.4.005.
2. **Kirsanov, M.** Model of a hexagonal prismatic truss. Oscillation frequency spectrum. Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. 106. Pp. 10601. doi:10.4123/CUBS.106.01.
3. **Kirsanov, M.; Luong, C.** Natural frequency spectra of spatial structure 2023; Construction of Unique Buildings and Structures; 106 Article No 10604. DOI: 10.4123/CUBS.106.04

*Г.Б. Свиридов, студ.;
рук. А.Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ 15Х2НМФА-А МЕТОДОМ КИНЕТИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Сталь 15Х2НМФА-А используется для изготовления корпусов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) атомных электростанций. Реакторы такого типа установлены на 22 из 37 энергоблоков АЭС России. Металл корпуса ВВЭР требует периодического контроля механических свойств в процессе эксплуатации, и точное определение характеристик прочности и пластичности является одним из важных этапов оценки и прогнозирования состояния металла корпуса реактора [1].

В настоящей работе предложено использовать для определения механических свойств стали 15Х2НМФА-А метод кинетического индентирования, основанный на непрерывной записи диаграммы деформирования в процессе вдавливания шарового индентора в исследуемую сталь. Проведение данных испытаний при температурах в диапазоне от 20 до 300°C позволяет определить влияние нагрева в рабочем диапазоне температур реактора на такие характеристики материала как твёрдость и модуль нормальной упругости. Были получены зависимости механических свойств стали 15Х2НМФА-А от температуры, которые показывают снижение твёрдости и модуля нормальной упругости материала с повышением температуры. Показано, что метод кинетического индентирования может быть использован для определения механических свойств корпусной стали без изготовления специальных образцов и проведения разрушающих испытаний. Дальнейшие испытания при более высоких температурах позволят спрогнозировать свойства данной стали при отклонении условий эксплуатации от нормальных, например, в случае тяжёлой аварии.

Личный вклад автора состоит в проведении экспериментов, обработке экспериментальных данных, анализе полученных результатов, а также сопоставлении полученных значений механических характеристик со значениями, полученными референсными методами испытаний.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-79-10140, <https://rscf.ru/project/23-79-10140/>.

Литература

1. **Локтионов В.Д., Соснин О.В., Любашевская И.В.** Прочностные свойства и особенности деформационного поведения стали 15Х2НМФА-А в температурном диапазоне 20-1000°C // Атомная энергия. 2005. Т. 99. №. 3.

Д.В. Чуприн, студ.; рук. Е.В. Терентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА СТАЛИ 15Х2НМФА НА ВЕЛИЧИНУ ИСХОДНОГО АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА

В данной работе рассматривается реакторная сталь 15Х2НМФА, которая используется для изготовления корпусов реакторов высокого давления ВВЭР [1]. Для данной стали характерно ухудшение механических свойств при увеличении размера первичного аустенитного зерна. Поэтому целью данной работы являлось изучение размеров зерна в зависимости от температуры нагрева.

Образцы из стали 15Х2НМФА нагревали до различных температур в диапазоне от 700–1200°C и закаляли в воду, затем изготовили металлографические шлифы для исследования микроструктуры. Размер зерна аустенита оценивали с использованием метода подсчета пересечений зерен в соответствии с ГОСТ 5639-82.

На графике представлена зависимость размеров зерна и твердости от температуры. Из графика видно, что при нагреве выше температуры 810°C (Ac3) размер зерен резко снижается с 0,082 мм до 0,017 мм. С температуры 850°C наблюдается непрерывный рост зерна и достигает максимального размера при 1200°C. Таким образом при термической обработке реакторной стали 15Х2НМФА нагрев выше 950°C не рекомендуется во избежание получения крупнозернистой структуры.

Полученные результаты могут быть применены для прогнозирования времени работы корпуса реактора ВВЭР при аварийных условиях.

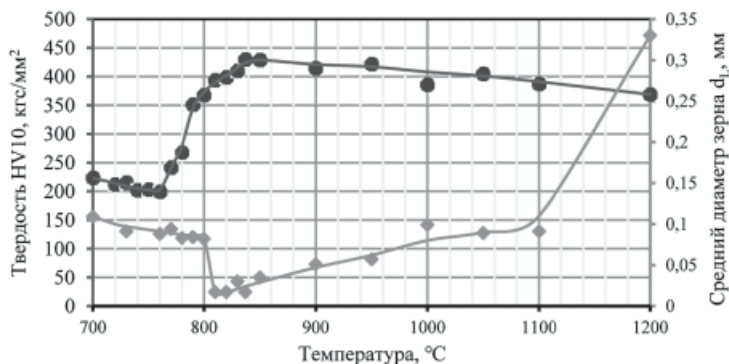


Рис. 1. Зависимость размера зерна и твердости от температуры нагрева

Литература

1. Loktionov V., Lyubashevskaya I., Sosnin O., Terentyev E. Short-term strength properties and features of high-temperature deformation of VVER reactor pressure vessel steel 15Kh2NMFA-A within the temperature range 20–1200 °C // Nuclear Engineering and Design. 2019. V.352. 110188.

А.В. Киселев, асп.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЛОБОВЫХ СТЕКОЛ

Цель исследования — определение работоспособности конструкции системы очистки лобовых стекол (СОЛС) (рис. 1).

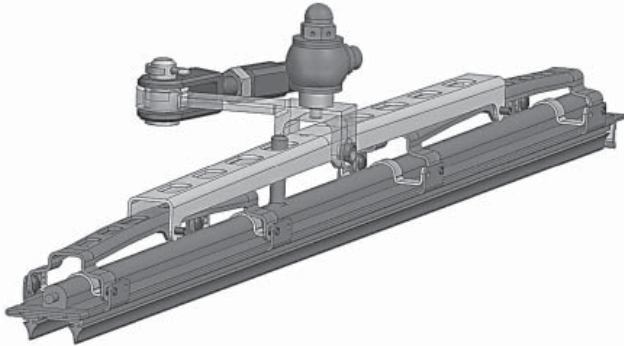


Рис. 1. Конструкция СОЛС

Задачи исследования:

- построение нелинейной динамической модели функционирования системы очистки лобовых стекол;
- определение кинематических параметров системы, таких как площадь ометания щетки стеклоочистителя;
- проверка качества функционирования СОЛС;
- прогнозирование ресурса элементов конструкции СОЛС;
- исследование устойчивости движения щетки стеклоочистителя;
- моделирование процесса очистки лобовых стекол;

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью разработки методики оценки функциональной способности систем очистки лобовых стекол.

Новизна проведенных исследований состоит в разработке динамической модели функционирования очистителей лобовых стекол с учетом нелинейной характеристики (нелинейная жесткость и контакт с поверхностью лобового стекла) и в подходе к проектированию щеток системы очистки лобовых стекол.

Исследование проведено с использованием расчетного комплекса Siemens Motion, применен решатель «Динамика». Модели могут быть применены для создания «цифровых двойников» реальных физических конструкций.

А.В. Дуб, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ СТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Оптимальный выбор параметров сетки конечных элементов имеет важное значение при расчете строительных конструкций. Некорректно выбранные параметры могут привести к недооценке величин напряжений и деформаций, что в дальнейшем может повлечь за собой нарушение проектного функционирования конструкции.

В работе проведен анализ различных сеток конечных элементов (КЭ) и рассмотрено их влияние на результаты расчетов. Представлены методы и подходы к выбору КЭ модели, учитывая специфику и особенности конкретных задач:

1. Изгиб прямоугольной пластины, шарнирно опертой по контуру с равномерно распределенным давлением по поверхности, регулярные и нерегулярные КЭ сетки.
2. Изгиб косоугольной пластины, защемленной по краю с распределенным давлением, регулярные и нерегулярные КЭ сетки.

В работе проведено сравнение влияния конкретного типа конечного элемента на расчет в вышеупомянутых задачах. Выполнена оценка сходимости результатов с точным (эталонным) решением.

Были получены результаты воздействия сетки конечных элементов на вычисления в различных программных комплексах. Предложены рекомендации по выбору вида сетки и ее параметров для различных элементов конструкций.

Полученные результаты могут быть применены при расчете строительных конструкций и использованы при оптимизации процесса КЭ моделирования, а также для получения более точных оценок величин статического расчета. В перспективе планируется развитие работ в части рассмотрения других видов конечных элементов, что позволит расширить область применения результатов исследований.

Литература

1. **K. Mallikarjuna, U. Shrinivasa.** A set of pathological tests to validate new finite elements/ Sadhana, Vol. 26, Part 6, december 2001.
2. **Доннел Л.Г.** Балки, пластины и оболочки / М.: Наука, 1982.
3. **Руководство пользователя CAE Fidesys [Электронный ресурс]** URL:<https://download.cae-fidesys.com/s/Fidesys-6-0-manual-rus> (дата обращения: 20.09.2023)

Н.В. Акиншин, асп.; рук. А.Г. Бойцов, д.т.н., доцент (МАИ, Москва)

ПРОЦЕССЫ И ОСНАТКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАДИУСОВ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ КРОМОК ЛОПАТОК КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН

Лопатки компрессоров и турбин имеют сложную форму и повышенные требования по точности и качеству обработки конструктивных элементов пера, в частности, радиусов входных и выходных кромок, что обусловлено их влиянием на аэродинамические свойства [1] и прочность лопаток.

Профилирование лопаток цель которого, заключается в моделировании оптимальной формы геометрии лопаток, учитывающего особенности трехмерного вязкого течения в решетке не является окончательной стадией. Для производства спроектированной модели требуется разработка технологического процесса изготовления с выбором средств технологического оснащения, позволяющего достичь близкую к модели форму поверхности лопаток.

Проблемным вопросом изготовления стало получение кромок, соответствующих форме модели.

В настоящее время отсутствуют альтернативные методы формирования радиусов кромок ручному шлифованию и полировке, которые являются трудоемкими.

Для достижения формы кромки соответствующей оптимальной модели автором разработан проект приспособления позволяющего обеспечить заданную геометрию входных и выходных кромок лопаток. Приспособление позволит сократить трудозатраты на изготовление и даст экономический эффект.

Для обработки лопаток с изогнутыми и криволинейными кромками также будет исследована возможность использования оборудования с ЧПУ, имеющим возможность корректировать положение оси вращения и оси качания лопатки относительно поверхности инструмента с адаптивным управлением от датчика положения кромки.

Все это в совокупности определяет актуальность работ и новизну по автоматизации и совершенствованию технологии обработки.

Данное приспособление может быть использовано на предприятиях, изготавливающих лопатки компрессоров и турбин, применяемых в авиационной и энергетической отрасли.

Литература

1. **Макнелли, Сокол.** Обзор методов расчета внутренних течений в применении к турбомашинам // Труды американского общества инженеров механиков. Серия: Теоретические основы инженерных расчетов. — 1985. — Т 107. № 1 — с. 103–122.

Ю.А. Смирнова, студ.;
рук. Т.Н. Догадина, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ МАТЕРИАЛА ЭИ961 МЕТОДОМ ЛОКАТИ

Для любых деталей и конструкций есть задача повышения надежности и долговечности под воздействием циклических нагрузок. Характеристики усталости материалов, к которым относят кривые усталости и предел выносливости, определяют экспериментальным путем на основе циклических испытаний образцов или непосредственно деталей и конструкций [1].

На практике используют стандартные и ускоренные методы испытаний. Стандартные испытания на усталость занимают длительное время, подразумевают использование большого количества образцов. В ускоренных испытаниях сокращается время испытаний и уменьшается количество испытываемых образцов, а значит и затраты на проведение экспериментов [2].

Цель работы — определение предела выносливости образцов из жаропрочного сплава. Для определения предела выносливости был выбран ускоренный метод Локати по схеме «растяжение-сжатие».

Проведены испытания на усталость материала ЭИ961 ускоренным методом Локати на трех корсетных образцах по схеме «растяжение-сжатие» в условиях нормальной температуры и при симметричном цикле нагружения.

Обработка результатов испытаний проведена двумя способами: по нормативной методике и усовершенствованным способом, основанном на выводе точного уравнения для определения предела выносливости. В Octave составлена программа для обработки результатов испытаний, построения кривых усталости и определения предела выносливости.

В результате определено среднее значение предела выносливости материала ЭИ961 — 584 МПа. Погрешность метода составила не более 11%, что позволяет говорить об эффективности использования метода Локати для оценки предела выносливости жаропрочных сплавов.

Для дальнейшего исследования выносливости и построения кривых усталости жаропрочных сплавов будем пользоваться методом Локати и составленной программой обработки результатов испытаний.

Литература

1. **Иванова В.С., Терентьев В.Ф.** Природа усталости металлов. М: Metallurgia, 1975. 456 с.
2. **Олейник Н.В., Скляр С.П.** Ускоренные испытания на усталость. Киев: Наукова думка, 1985. 301 с.

С.В. Попиль, асп.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМАТИЗАЦИИ УТОНЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Трубопроводные сети электрических станций являются неотъемлемой частью их функционирования. Вопрос исследования надежности и обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов электрических станций является актуальным. На этапах подготовки к запуску станции в строительстве и установке трубопроводных магистралей затраты не превышают 10% от общей стоимости проекта [1]. При этом выход из строя отдельных участков по причине эксплуатационных повреждений может привести к снижению вырабатываемой мощности или даже останову энергоблоков. Исследователи в своих работах ссылаются на различные нормативные документы, регулирующие анализ трубопроводов с утонением, по критерию надежности, и предлагают новые подходы к таким вопросам [2]. Научная новизна работы состоит в моделировании формы деградации внутренней стенки трубопровода, приближенной к реальной. Авторы ставили перед собой задачу проанализировать влияние схематизации утонения, на напряженно-деформированное состояние трубопровода при различных значениях величины максимального утонения и рабочих параметров.

В CAD среде была создана твердотельная модель, диаметром 426 мм и толщиной стенки 24 мм, для оценки НДС трубопровода с локальным утонением. Этот участок был смоделирован цилиндрической обечайкой, длиной 350 см, с наложенным с левого торца граничным условием в виде условия симметрии. Авторами была разработан программный код, генерирующий начальные координаты сферинструментов и их радиусы в указанных границах. Данные сферы предназначены для моделирования износа металла в модели трубопровода, приближая форму утонения к реальной. Результаты, полученные в ходе данного анализа можно использовать для дальнейшей разработки теории оценки на прочность трубопроводов, содержащих эксплуатационные дефекты.

Литература

1. **Mingjiang Xie, Jianli Zhao, Xianjun Pei.** Maintenance strategy optimization of pipeline system with multi-stage corrosion defects based on heuristically genetic algorithm. *Process Safety and Environmental Protection journal* 170 (2023). P: 573–572.
2. **Nobuyuki Fujisawa, Nobuaki Kanatani, Takayuki Yamagata, Tsuyoshi Takano.** Mechanism of non-axisymmetric pipe-wall thinning in pipeline with elbow and orifice under influence of swirling flow. *Nuclear Engineering and Design journal* 185 (2015). P: 126–133.

*И.А. Ключникова, студ.; К.Т. Бородавкина, асп.;
рук. Е.В. Терентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

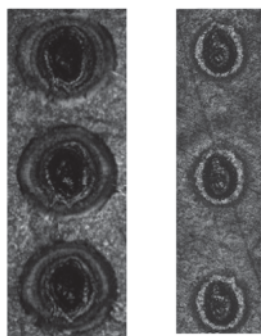
ВЛИЯНИЕ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛА

В работе рассматривается влияние рабочей среды на результаты химического анализа и возможности определения углерода лазерным атомно-эмиссионным спектрометром LAES Matrix.

Проведение спектрального анализа в вакууме оказалось нерациональным ввиду быстрого рассеивания облака металлического газа в разряженной атмосфере, в связи с этим пики имели минимальную интенсивность, не зависящую от содержания углерода в образцах стали.

При рассмотрении пятен обжига лазером на поверхности исследуемых образцов под микроскопом (рис. 1) видно, что в среде аргона размеры образовавшихся кратеров и зон нагрева меньше, чем в среде атмосферного воздуха. Согласно полученному оптическому спектру (рис. 2), при определении содержания, например, марганца, пики стабильны и в атмосфере, и в среде аргона. В то же время, интенсивности пиков углерода, полученных в среде аргона, выше полученных в атмосферном воздухе. Также стоит отметить, что в среде воздуха интенсивности пиков при различном содержании углерода в стали практически не отличаются, что не позволяет оценить его содержание.

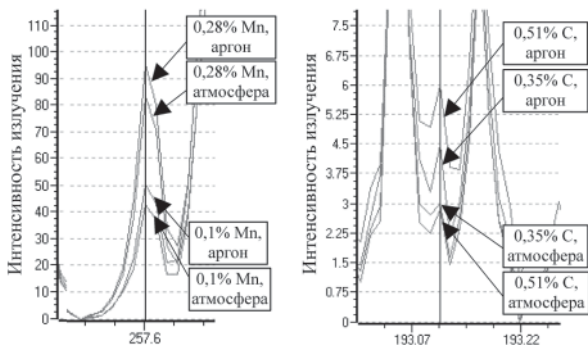
Полученные результаты показали возможность измерения углерода в сталях в среде аргона с приемлемой точностью, что позволяет избежать применение разрушающих методов определения химического состава.



(а)

(б)

Рис. 1. Пятна обжига (а) в воздухе и (б) в аргоне, 50х



(а)

(б)

Рис. 2. Пики марганца (а) и углерода (б), полученные в различных средах

А.Д. Милешин, асп.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОЗИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ СТАБИЛИЗАТОРА САМОЛЁТА

Основными требованиями к конструкциям самолётов являются их прочность и лёгкость. При этом остается актуальной проблема модификации эксплуатируемых самолетов для снижения веса конструкций при обеспеченной прочности. Для решения этой проблемы применяют легкие и прочные композиционные материалы. По сравнению с разработкой и выпуском нового летательного аппарата замена дюралюминиевых элементов композиционными является дешёвым и быстрым способом модификации конструкции самолета.

Цель работы — моделирование исходной конструкции стабилизатора самолёта с целью замены дюралюминиевых панелей кессона на аналогичные конструкции, выполненные из композитного материала [1] с оптимизированной укладкой слоев.

Задачи исследования:

- Создание КЭ модели конструкции стабилизатора.
- Расчет исходной дюралюминиевой конструкции для определения коэффициентов запаса прочности верхних и нижних панелей кессона при действии маневровой нагрузки.
- Моделирование дюралюминиевых панелей кессона на композитные, оптимизация ориентации слоев композита, определение коэффициентов запаса прочности.
- Сравнительный анализ результатов.

Новизна исследования заключается в применении модуля генетической оптимизации программного комплекса Ansys для определения оптимальной ориентации слоёв укладки композитного волокна в хвостовом оперении. Оптимизация позволяет определить такую структуру пакета склейки, которая будет наилучшим образом воспринимать внешнюю нагрузку.

В результате оптимизации был сгенерирован новый тип укладки. Оптимизация увеличила коэффициент запаса прочности панели до 60% по сравнению с квазиизотропной укладкой с таким же количеством слоёв.

Применение изложенного подхода повышает эффективность композитных панелей и способствует снижению веса конструкций, а потому считается перспективным.

Литература

1. **Первушин Ю.С., Жернаков В.С.** Основы механики, проектирования и технологии изготовления изделий из слоистых композиционных материалов: Учеб. пособие гос. авиац. техн. ун-т. Уфа. 2008.

Секция 53

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Robotic and mechatronic systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Меркурьев Игорь Владимирович
Секретарь секции: к.ф.-м.н., доцент Капустина Ольга Михайловна

Д.А. Грачёв, Г.С. Дробчик, студенты;
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Актуальность исследования динамики микромеханических гироскопов связана с решением задач повышения точности управления и навигации беспилотных транспортных, авиационных и космических систем. Принцип функционирования рассматриваемого микромеханического гироскопа основан на гироскопическом эффекте, вызывающем прецессию орбиты малых колебаний чувствительного элемента гироскопа в виде твердого тела в двухосевом кардановом подвесе. Рассматриваемый микромеханический гироскоп принадлежит классу гироскопов обобщенного маятника Фуко и позволяет оценить угловое движение основания гироскопа вокруг оси чувствительности, ортогональной плоскости карданова подвеса.

В процессе эксплуатации гироскопа, как правило, существенно изменяется температура окружающей среды, при этом тепловые деформации элементов конструкции могут вызывать существенное увеличение погрешностей гироскопа. В докладе поставлена задача построения новой математической модели микромеханического гироскопа, описывающей малые колебания чувствительного элемента на подвижном основании при медленном изменении температуры окружающей среды.

С использованием системы автоматизированного проектирования построена трехмерная конструкционная модель гироскопа, оценены массово-габаритные характеристики чувствительного элемента. С использованием формализма Лагранжа построены дифференциальные уравнения малых колебаний гироскопа на подвижном основании. Параметры математической модели гироскопа, собственные частоты колебаний чувствительного элемента и коэффициенты демпфирования, являются медленно изменяющимися функциями времени, зависящими от температуры окружающей среды. Законы зависимостей параметров математической модели от температуры окружающей среды определены с использованием численных методов решения задачи теплопроводности.

Полученные зависимости угла прецессии гироскопа от медленного углового движения основания гироскопа и медленного изменения температуры окружающей среды могут быть использованы для целей компенсации систематических температурных погрешностей гироскопа.

А.Е. Уткин, студ.;
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ И ПОСТРОЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ ШЕСТИНОГО ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА



Рис. 1. Кадр анимации движения робота

опоры при неподвижном корпусе. Решена задача кинематики ног при заданном движении платформы. Построены траектории движения точек контакта ноги с поверхностью в подвижной системе координат, связанной с корпусом робота [1]. Траектории построены с расчетом, чтобы скорости точки опоры относительно поверхности в момент постановки и снятия ноги равнялись нулю, что предотвращает проскальзывание [2].

Выполнен анализ изменения значений углов поворота звеньев ног при варьировании длин звеньев конечностей и характерных длины и высоты траектории точки опоры. Предложен способ движения ног, исключающий прерывистость перемещения корпуса, исследован способ получения плавного движения робота.

Приведен пример построения программы для анимации движения робота в математическом пакете Wolfram Mathematica (рис. 1).

Литература

1. Павловский В.Е., Панченко А.В. Модели и алгоритм управления движением малого шестиногого робота / В.Е. Павловский, А.В. Панченко // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2012. — № 11. — С. 23–28.
2. В.М. Буданов, “Алгоритмы планирования движений шестиногого шагающего аппарата”, *Фундамент. и прикл. матем.*, 11:7 (2005), 197–206; *J. Math. Sci.*, 146:3 (2007), 5931–5937.

Д. Диб, асп.; рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ ЧЕЛОВЕКА

Экзоскелеты и роботизированные устройства становятся все более популярными как для реабилитации человека с нарушениями опорно-двигательного аппарата, так и для повышения силы или поднятия тяжелых предметов. Управление экзоскелетом является актуальной задачей механики [1]. Экзоскелеты представляют собой сложные механические системы, состоящие из конечного множества искусственных суставов, приводов и датчиков, взаимодействующих и дополняющих движение человека.

В докладе обсуждается методика получения математической модели механической части экзоскелета, взаимодействующего с человеком и с опорной поверхностью. С использованием общих теорем динамики получены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие движение модельной многозвенной механической конструкции в сагиттальной плоскости.

Предложена методика управления моментами электродвигателей в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах экзоскелета, обеспечивающего переход из заданного сидячего положения в вертикальное положение. При выполнении заданного упражнения используется кинограмма движения здорового человека на основе результатов эксперимента [2].

Найдено программное движение и программное управление механической системы. Выполнена линеаризация уравнений движения механической системы в малой окрестности программного движения. Исследована управляемость и наблюдаемость линеаризованной нестационарной системы. В докладе обсуждаются решение задачи линейно-квадратичного оптимального управления для стабилизации движения линеаризованной механической системы вдоль программной траектории с минимальной нормой управления [3]. Получено численное решение нелинейного матричного дифференциального уравнения Риккати и коэффициенты нестационарной обратной связи по вектору состояния линеаризованной системы. Проведен анализ переходных процессов, значений управляющих моментов в суставах механической системы и сил реакции опоры.

Литература

1. **Формальский А.М.** Перемещение антропоморфных механизмов. — М.: Наука, 1982. — 368 с.
2. **Riener R., Fuhr T.** Patient-driven control of FES-supported standing up: a simulation study // IEEE Transactions on rehabilitation engineering. 1998. — №. 2. — С. 113–124.
3. **Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А.** Оптимальное управление движением. — М.: Физматлит. 2005. — 376 с.

Д.Р. Андреев, студ.; рук. О.М. Капустина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИВЕДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА В ПРОИЗВОЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ С НУЛЕВОЙ СКОРОСТЬЮ



Рис. 1. Транспортное средство гироскоуптер Segway-Ninebot mini S

Задача управления физическим маятником различными способами относится к классическим задачам механики [1]. Актуальность этой проблемы в настоящее время связана с производством и эксплуатацией таких транспортных средств, как «Segway» [2] и ему подобных рис. 1. Человек, управляющий платформой, может быть представлен в виде маятника, центр тяжести которого находится выше точки подвеса.

В работе рассмотрен однозвенный физический маятник с неподвижной точкой подвеса. Управление осуществляется двигателем, расположенным в центре подвеса. Ставится задача приведения маятника в произвольное положение с нулевой скоростью за заданное время.

Показано, что эта задача может быть выполнена с помощью двух импульсов, при которых скачком меняется угловая скорость маятника. Представлены иллюстрации на фазовой плоскости, подтверждающие правильность решения. Даны оценки энергетических затрат на управление.

Литература

1. **Формальский А.М.** Управление движением неустойчивых объектов // М.: ФИЗМАТЛИТ. 2014. 232 с.
2. <https://segway-ninebot.ru/> (дата доступа 24.10.23)

С.С. Степанова, студ.; С.В. Астахов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРОТОТИП ТРЕХОСЕВОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Объектом разработки является прототип роботизированного манипулятора, предназначенного для сортировки малогабаритных объектов с целью автоматизации производственного процесса. По проведенному анализу существующих технических решений роботизированных манипуляционных систем [1] определены функциональные узлы (модули).

На основе разработанной логики функционирования прототипа роботизированного манипулятора определены кинематические схемы [2] входящих модулей и технические требования к ним, по расчётам подобраны составные элементы — датчиковая аппаратура, двигатели [3], механические передачи [4].

Определена структура системы управления прототипа манипулятора с требуемым набором интерфейсов [5] для подключения вспомогательных устройств, которая необходима для решения следующих задач:

- обработка протокола информационного взаимодействия (ПИВ) [6] с локальными системами управления и алгоритмами работы модуля перемещения, схвата и модуля идентификации;
- проведение отладочных испытаний для проверки правильности функционирования мехатронных модулей.

Литература

1. **Siciliano Bruno, Khatib Oussama** Handbook of robotics — GmbH: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.
2. **Воробьев Е.И., Попов С.А., Шевелева Г.И.** Механика промышленных роботов: Учебное пособие для вузов: В 3 кн. Кн. 1: Кинематика и динамика. М.: Высш. Шк., 1988.
3. **Воробьев Е.И., Бабич А.В., Жуков К.П., Попов С.А., Семин Ю.И.** Механика промышленных роботов: Учебное пособие для вузов: В 3 кн. Кн. 3: Основы конструирования. М.: Высш. Шк., 1989.
4. **Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.** Расчет на прочность деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1993.
5. **Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис.** Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. М.: ДМК Пресс, 2018.
6. **Майк Предко.** Руководство по микроконтроллерам. Том II. Москва: Постмаркет, 2001.

*О.М. Дагиянов, асп.; рук. А.С. Степанов, к.т.н.
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА»)*

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО СТОЛА КОМПЛЕКСА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Задача прецизионного размещения пациента во время сеансов лучевой терапии реализуется с помощью системы поддержки пациента — терапевтического стола [1], при создании которого решаются задачи в части разработки механических передач с люфтовывбирающими механизмами, электронных устройств системы управления, алгоритмов управления, направленных на достижение требуемых параметров воспроизводимости, линейности и точности перемещений. Измерения точности позиционирования терапевтического стола реализуются с помощью программно-аппаратной измерительной системы контроля [2, 3].

В данной работе оценена точность кинематической модели позиционирования стола. Проведена оценка влияния упругих свойств конструкции на точность позиционирования. Получены дифференциальные уравнения движения механизма, реализующего перемещение терапевтического стола в вертикальном направлении [4]. Проведена оценка согласованности кинематической модели с экспериментальными данными.

Проведены испытания для сравнения расчетного и реального значений высоты подъема стола. Измерения телеметрии в реальном времени при вертикальном перемещении проведены автономно. В этом режиме блок управления терапевтического стола принимает команды от имитатора вычислителя комплекса дистанционной лучевой терапии. Независимый контроль перемещений проведён с использованием поверенной координатно-измерительной машины (КИМ) FARO Edge Arm [5].

Литература

1. **Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C.** Handbook of radiotherapy physics. Theory and practice. — Taylor & Francis Group, LCC, 2007.
2. **Riis Hans L., Zimmermann Sune J., Riis Poul** Isocentric rotational performance of the Elekta Precise Table studied using a USB-microscope // IOP Publishing, Physics in medicine and biology. 2010. 55. P. 7597–7614.
3. **Riis Hans L., Zimmermann Sune J.** Elekta Precise Table characteristics of IGRT remote table positioning // Taylor & Francis, Acta Oncologica, 2009. 48. P. 267–270.
4. **Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61217-2013.** Аппараты дистанционные для лучевой терапии. Координаты, перемещения и шкалы. — Москва Стандартинформ, 2014.
5. **8-Axis Edge FaroArm & ScanArm.** [Электронный ресурс], URL: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-8-axis-edge-faroarm-scanarm>

Направление XI
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
Electrical power engineering

Руководитель направления:

Директор института
электроэнергетики НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Тульский Владимир Николаевич

Секция 54

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Electric power engineering systems

Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Олег Николаевич

Секретарь секции: Анисимова Ирина Сергеевна

Ф.А. Демышев, студ.; О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС

Обеспечение устойчивости электрических систем в установившихся режимах (нормальных, утяжеленных, послеаварийных), а также при больших аварийных возмущениях является необходимым условием надежного функционирования этих систем. Поэтому мероприятия по обеспечению устойчивости и требуемого качества переходных процессов постоянно уделяется большое внимание. Одним из таких мероприятий является электрическое торможение.

Электрическое торможение подразумевает включение специальных нагрузочных сопротивлений при возникновении короткого замыкания, что приводит к увеличению электромагнитного момента и за счет этого улучшаются условия динамической устойчивости [1].

Для выбора целесообразных значений параметров системы электрического торможения моделирование электрической системы и расчёты установившихся и переходных режимов проводились в программно-вычислительном комплексе *RastrWin3*.

При выполнении расчетов были рассмотрены совокупности режимов генерирующего оборудования электростанции для того чтобы определить параметры электрического торможения ($R_{эп}$, $t_{эп}$). По результатам выполненных исследований были сделаны выводы о эффективности применения электрического торможения для обеспечения динамической устойчивости электроэнергетической системы.

Полученные результаты расчета можно применить для проектирования средств противоаварийного управления, а именно электрического торможения, для обеспечения динамической устойчивости генерирующего оборудования ГЭС.

Литература

1. **Н.И. Зеленохат, О.Н. Зеленохат, Б. Пурэвсүрэн.** Дискретное управление электрическим торможением синхронного генератора в электроэнергетической системе // Вестник МЭИ, 2009, № 2. С. 72–79.

А.А. Пропп, Л.А. Веренцов, студенты;
рук. М.В. Бурмейстер, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СУПЕРКОНДЕСАТОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНЕРЦИИ

В современном мире активно развивается использование систем накопления электроэнергии (СНЭЭ), на конец 2022 года суммарное количество проектов по СНЭЭ, составляет 1283 суммарной мощностью более 9,2 ГВт [1]. К областям применения накопителей относятся: разделение во времени генерации и потребления, регулирование напряжения в узле подключения, улучшения качества показателей электроэнергии и регулирование частоты, также СНЭЭ используется для предоставления услуг операторам электроэнергетических систем (ЭЭС) [2]. С увеличением объёмов СНЭЭ в энергосистеме они могут стать эффективным техническим средством регулирования частоты. Для быстрого регулирования частоты подходят суперконденсаторы, но на текущий момент регулирование частоты с помощью них мало изучено.

Цель работы заключалась в разработке имитационной модели суперконденсатора для регулирования частоты в энергосистеме. Данная модель позволит учесть физические процессы и определить ограничения на технические параметры в суперконденсаторах для регулирования частоты.

В результате выполненной работы была разработана имитационная модель суперконденсатора в *Matlab Simulink*, где учитываются технические параметры суперконденсатора, такие как: количество параллельных и последовательных ветвей конденсаторов, эквивалентное последовательное сопротивление и др. Модель суперконденсатора применена в имитационной модели изолированной энергосистеме. Проведены опыты по работе суперконденсатора в режиме потребления и выдачи мощности, определена скорость разряда и заряда суперконденсатора. Подтверждена возможность применения суперконденсаторов для регулирования частоты. На основе модели планируется создание лабораторного образца суперконденсатора для изучения переходных процессов.

Литература

1. Булатов Р.В., Насыров Р.Р., Бурмейстер М.В. Применение систем накопления электроэнергии для повышения коэффициента использования установленной мощности электростанций на базе возобновляемых источников энергии в составе электрических систем // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2021. — № 6(69). — С. 74–80.
2. ГОСТ Р 58092.1-2018. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Термины и определения. — Москва, 2018. — 54 с.

*Р.С. Чувашев асп.; Ю.К. Очковская, студ.;
рук. Д.Н. Удинцев д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЧЕНИЯ ЛЭП СВЯЗИ С ВНЕШНЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ОБЪЕКТА РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

При интеграции объектов распределённой генерации (далее РГ), работающих параллельно с внешней энергосистемой обычно не рассматривается вопрос влияния сечения линии связи на работу энергоцентра. Выбор сечения ЛЭП в системах электроснабжения 6–35 кВ обычно производится по допустимому нагреву проводников, либо по допустимой потере напряжения. Эти критерии отражают только возможность передачи электрической энергии по линии, необходимой для обеспечения локальной нагрузки в течение продолжительного времени. Важно отметить, что в данных критериях не учтено влияние воздействия резких, ступенчатых изменений мощности нагрузки.

При выборе сечения ЛЭП 6–35 кВ, стоит учитывать, что для данного класса напряжения характерно влияние активной составляющей продольного сопротивления линии, следовательно, при проектировании необходимо учитывать влияние сечения на устойчивую работу объекта РГ.

Так с учётом средней мощности, передаваемой по линии, может быть выбрано достаточно низкое сечение ЛЭП связи, при этом резкие изменения мощности нагрузки могут приводить к существенным падениям напряжения в локальной системе электроснабжения, а также к потере устойчивости генерирующего оборудования.

Личный вклад авторов заключается в проведении исследования влияния сечения ЛЭП, связывающей энергорайон с внешней ЭЭС неограниченной мощности, на работу генерирующего оборудования энергоцентров, а также на работу местной нагрузки. Также авторами предложены дополнения к существующим методикам выбора сечения ЛЭП 6–35 кВ, в случае наличия объекта распределённой генерации в локальной системе электроснабжения.

Научная новизна работы заключается в предложении дополнительных критериев выбора сечения ЛЭП 6–35 кВ, учитывающих особенности работы объектов распределённой генерации. Авторы предлагают практические дополнения к существующим методикам, что предоставляет новый взгляд на проектирование локальных систем электроснабжения, включающих в себя объекты распределённой генерации. Такой подход, в свою очередь, может улучшить точность и эффективность проектирования энергоцентров, которые работают параллельно с внешней энергосистемой.

А.С. Сидоров, студ.;
рук. А.В. Белоглазов, к.т.н. (НГТУ, Новосибирск)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) создает определенные сложности для качественного анализа режима работы ЭЭС и расчета релейной защиты и автоматики (РЗА), поэтому требуется выбрать программно-вычислительный комплекс (ПВК), который позволял бы одновременно решать следующие задачи: расчет установившегося режима (УР); оптимизация УР; расчет переходных процессов (ПП); анализ статической и динамической устойчивости; анализ повреждений; расчет релейной защиты (РЗ). К наиболее популярным ПВК в данном направлении можно отнести: RastrWin, ETAP, APM CP3A, ANAPЭС-2000, Energy CS, PSS[®]E, DigSILENT PowerFactory, EUROSTAG, PSCAD, Mustang [1]. ПВК сравнивались между собой по наиболее важным критериям для исследования режимов работы ЭЭС: расчет УР, ПП, уставок РЗ; оптимизация и утяжеление режима; эквивалентирование схемы и ее графическое отображение; создание пользовательских моделей; наличие стандартных моделей РЗА и базы элементов ЭЭС; ограничение по размерности модели. Подробный анализ автором функциональных возможностей рассматриваемых программ позволяет сделать вывод, что наиболее подходящими ПВК для качественного анализа режима работы ЭЭС с целью дальнейшего расчета уставок РЗ являются ETAP, DigSILENT и PowerFactory, поскольку данные программы включают в себя функции моделирования, анализа, оптимизации и расчетов параметров электрических сетей. Для задач имитационного моделирования ЭЭС хорошо подходит ПВК PSCAD. Однако данные программы иностранного происхождения, что ограничивает их использование в нашей стране. Из отечественных ПВК наиболее подходящим является АРМ СРЗА, позволяющий выполнять расчеты токов короткого замыкания и уставок РЗ.

Полученные результаты анализа могут быть использованы при выборе ПВК, необходимого для решения определенных задач в сфере энергетики.

Литература

1. **Казакул А.А.** Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Методические указания для самостоятельной работы студентов / сост. Казакул А.А. — Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. — М.: «Машиностроение», 1978. — 200 с.

*Н.А. Суюнтбекова, Ч.М. Бузурманкулова, аспиранты;
рук. К. Сатаркулов, к.т.н., доц. (КГТУ им. И.Раззакова г. Бишкек)*

ОЦЕНКА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ LABVIEW ПРИ СЛУЧАЙНОМ ИЗМЕНЕНИИ ТОКА НАГРУЗКИ

Важнейшим направлением работ в сфере электроэнергетики во многих странах является уменьшение потерь в электрических сетях. При этом сохраняется актуальность в совершенствовании методов расчёта потерь электроэнергии на основе компьютерного моделирования, так как аналитические методы расчёта при случайном изменении тока нагрузки дают существенную погрешность [1]. Цель работы — разработка виртуального прибора (ВП) в среде LabVIEW, способного оценивать потери мощности в линии электропередачи при смоделированном токе нагрузки, изменяющейся случайным образом. При этом вероятностный закон изменения действующего значения тока задаётся. Интерфейс (передняя панель) разработанной авторами ВП представлен на рис. 1. В результате проведённого численного эксперимента при заданном законе распределения, действующего значения тока, подчиняющееся закону Рэля получен результат, подтверждающий, что рассчитанные случайные значения потери мощности в проводе подчиняются показательному закону. В перспективе авторами планируется расширить функциональные возможности ВП, чтобы оценивать потери мощности в линии и при других законах распределения тока, отличающихся от закона Рэля, что позволит исследовать влияние различных законов распределения на потери мощности в линии электропередачи.

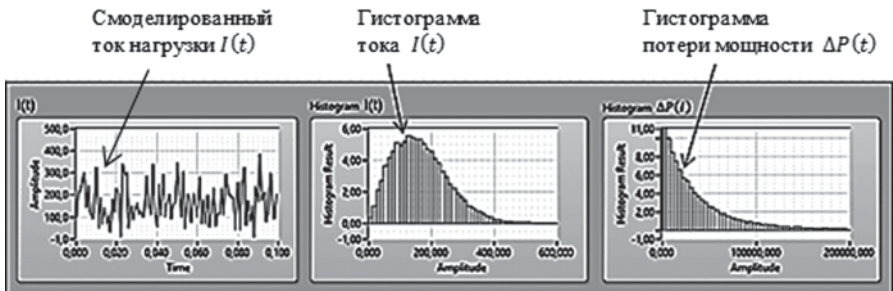


Рис. 1. Интерфейс (передняя панель) разработанной ВП

Литература

1. **Гиршин С.С., Монгуш Ч.П., Бирюков С.В.** Расчёт потерь мощности в электрических сетях при вероятностном задании нагрузок // Омский научный вестник. 2018. № 1 (157). С. 31–35.

*Т.К. Сатаркулов, М.Т. Абдылдаева, аспиранты;
рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф. (КГТУ им. И.Раззакова г. Бишкек)*

ЭЛЕКТРОКОТЕЛ НА ИНДУКЦИОННОМ СПОСОБЕ НАГРЕВА ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПЛАВНОЙ РЕГУЛИРОВКИ ЧАСТОТЫ МИКРОГЭС

В [1] предложено устройство микро-ГЭС малой мощности с описанием нового способа, стабилизации частоты (СЧ) вращения гидротурбины, где способ СЧ основано на использовании полого маховика с автоматически регулируемой массой, моментом инерции путём заполнения или удаления воды из полости маховика и регулирования потока воды, подающейся на вход гидротурбины.

В предлагаемой работе для увеличения надёжности СЧ в случае отказа основного предлагается дополнительный способ СЧ путём использо-

вания балластной нагрузки в виде электрокотла на индукционном способе нагрева воды, позволяющий плавно регулировать частоту. Недостатком типовых балластных нагрузок является то, что для СЧ требуется большое количество дозированных ступеней балластной нагрузки, в результате СЧ осуществляется дискретно.

Электрокотел функционирует за счёт воздействия на сплошной цилиндр из железа (СЦЖ), вращающегося магнитного поля, наводящего в нем вихревые электрические токи.

На рис.1 показан разработанный и изготовленный авторами электрокотел, где 1 — индуктор, подключенный к трехфазной сети; 2 — СЦЖ; 3 — бачок расширительный; 4 — чугунный радиатор. Непрерывное регулирование, потребляемым электрокотлом мощности реализуется с помощью поступательного перемещения индуктора. При перемещении индуктора вверх, как показано стрелкой на рис. 1, потребляемая мощность увеличивается — уменьшается при обратном ходе индуктора. В перспективе планируется изготовить и внедрить промышленный вариант котла для повышения надёжности стабилизации частоты действующей микро-ГЭС.

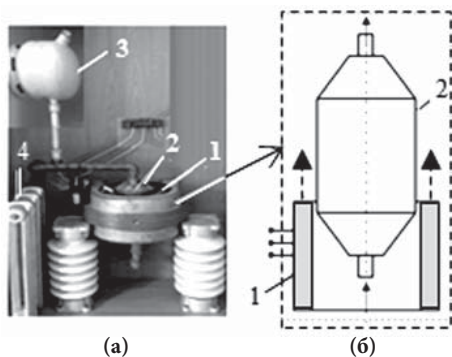


Рис. 1. Фотография электрокотла (а) и его схематичное изображение в разрезе (б)

Литература

1. Бакасова, А.Б., Сатаркулов К.А, Ниязова Г.Н., Яблочников А.М., Усубалиева Г.К. Моделирование микро-ГЭС малой мощности с маховиком, автоматически регулирующим моментом инерции // Информатика и системы управления. — 2019. — № 1 (59). — С. 36–45.

О.М.Санчес, асп.; рук. О.Н. Кузнецов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Энергетический сектор Кубы является одним из ключевых секторов экономики, требующий развития и модернизации. Кубе необходимо срочно снизить свою высокую зависимость от импортного ископаемого топлива для производства электроэнергии и направить высвободившиеся средства на развитие национальной экономики.

В соответствии с принятой технической политикой по развитию возобновляемой энергетики, к 2030 году ожидается достижение 24% доли выработки электроэнергии на базе возобновляемых источников, а также снижения себестоимости производства и ввода новых мощностей для удовлетворения потребности в электроэнергии.

Целью данной работы является анализ факторов, влияющих на внедрение возобновляемых источников энергии в энергосистеме острова Хувентуд с целью обеспечения эффективности и качества электроснабжения потребителей.

В результате проведенного анализа выявлено, что фотогальваническая технология преобразования солнечной энергии в электрическую является одним из ключевых факторов, способных обеспечить диверсификацию энергетики. Для обеспечения равномерной выдачи электроэнергии возобновляемых источников необходимо применение систем накопления электроэнергии, выбор которых должен проводиться с учетом технических и экономических особенностей функционирования энергосистемы острова Хувентуд.

Выполненный анализ факторов, влияющих на внедрение возобновляемых источников энергии в энергосистеме острова Хувентуд позволит обосновать выбор стратегии развития возобновляемой энергетики на острове Хувентуд для обеспечения качественного электроснабжения потребителей.

Литература

1. **Назарова Ю. А.** Анализ факторов, влияющих на развитие возобновляемых источников энергии для энергообеспечения удаленных потребителей, 2018 г. С. 32.
2. https://es.wikipedia.org/wiki/Isla_de_la_Juventud.
3. CIPEL. Солнечное проникновение Исла-де-ла-Хувентуд. С 6–19.
4. Подготовительный исследовательский проект. Проект улучшения электроснабжения острова Хувентуд, 2018 г. С. 30.

Н.А. Каримов, асп.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ И РЕЖИМОВ ЭЭС С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ НА УСЛОВИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

В настоящее время увеличивается доля электрических станций на базе возобновляемых источников энергии как в мировой, так и отечественной энергетике. Одним из наиболее перспективных и быстрорастущих направлений является увеличение установленной мощности фотоэлектрических станций (ФЭС), работающих параллельно с электроэнергетической системой (ЭЭС). Однако работа солнечных электрических станций с большой установленной мощностью может изменить динамические характеристики энергорайонов и в отдельных случаях даже привести к нарушению динамической устойчивости ЭЭС [1].

В рамках исследования разработана математическая модель энергорайона с турбогенераторами и ФЭС, работающих параллельно с энергосистемой большой мощности. Моделирование сети, а также установившихся режимов и переходных процессов проводилось с применением пакета прикладных программ *MATLAB Simulink*.

В ходе работы осуществлен синтез существующих подходов к моделированию отдельных частей и разработана модель ФЭС, а также проработаны вопросы описания системы управления и контроллеров полной модели солнечной электростанции, работающей параллельно с ЭЭС. С помощью полученного инструмента проанализированы установившиеся режимы и переходные процессы, вызванные флуктуацией параметров окружающей среды и возмущениями в системе. При этом в работе рассматривается два расчетных случая: в первом случае параллельно с ЭЭС работает два турбогенератора, во втором случае один из турбогенераторов замещается на ФЭС. Проанализировано влияние параметров схемы и режимов ЭЭС на изменения условий динамической устойчивости и выявлена степень воздействия ФЭС на динамические свойства системы в зависимости от конфигурации электрической сети ЭЭС.

Полученные результаты могут быть применены при выборе параметров основных элементов, а также для исследования установившихся и переходных режимов работы ЭЭС, содержащих ФЭС.

Литература

1. **Курихина К.А., Тягунов М.Г., Чумаченко В.В., Субботин А.В.** Исследование влияния крупной СЭС на переходные процессы при возмущениях во внешней сети // Электроэнергетика. Передача и распределение № 3 (48), май-июнь 2018.

Д.К. Калмурзаев, студ.; А.К. Абдымомунова, соиск.;
рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф. (КГТУ им. И.Раззакова, Бишкек)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

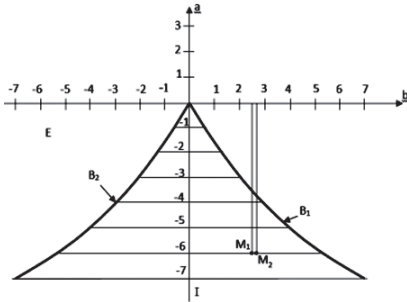


Рис. 1. Метод теории катастроф типа «сборка»

площадей для определения устойчивости работы ЭЭС [2] на примере работы Токтогульской ГЭС Кыргызской Республики. Были произведены расчеты устойчивости по методам площадей и теории катастроф. А также было доказано, что уравнение многообразия катастрофы сборки для случая энергосистем (станция — шины неизменного напряжения) принимает вид (1)

$$\delta_{\max}^3 + a\delta_{\max} + b = 0 \quad (1)$$

где a, b — формулы можно найти в [2]

Результаты расчета показали, что система устойчива, так как M_1, M_2 находятся (рис. 1) в области устойчивости и это соответствует методу площадей.

Расчёты условий устойчивости выполнены лично авторами под руководством научного руководителя.

Результаты исследования ЭЭС данным методом хорошо согласуется с результатом метода площадей, при этом, поведение системы может быть представлено в трехмерном пространстве. Теория катастроф в сочетании с современными методами системного анализа является эффективным средством качественного анализа различных динамических процессов в ЭЭС.

Литература

1. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. — М.: Мир, 1980.
2. Апышев Д.А., Бакасова А.Б. Нелинейности в электроэнергетике. Монография. — Бишкек: ИЦ «Текник», 2003.

А.О. Халиман, студ.;
рук. Ю.В. Целебровский, д.т.н., проф. (НГТУ, Новосибирск)

РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОВОСА

Надёжность энергосистемы в грозные периоды можно существенно повысить, исключив грозные отключения ВЛ. В [1] показано, что этого можно добиться, применив противовес, который пересекает вертикальную границу раздела между грунтами с резко отличающимися удельными сопротивлениями $\rho_1 < \rho_2$. При этом, чем больше ток I , протекающий по противовесу, тем меньше вероятность разряда молнии в ВЛ.

В результате анализа выходных данных многофакторного вычислительного эксперимента [1], было выведено линейное уравнение (1) многофакторной регрессии, зависимости функции отклика I от упомянутых факторов.

$$I = 0.757 + 2.269 \cdot \rho_1 / \rho_2 - 0.006 \cdot \rho_1 + 2.335 l_1 / l_2 + 0.152 l_1 + 0.011 d_{\text{противовеса}} \quad (1)$$

Коэффициент детерминации полученного уравнения (1) равен: $R^2=0,79$. По коэффициентам, стоящим перед факторами заметно, что значение максимального продольного тока в большей степени зависит от соотношений удельных электрических сопротивлений грунтов и длин участков l_1 и l_2 противовеса в грунтах с ρ_1 и ρ_2 .

Результаты корреляционного анализа данных, проведенного с целью определения степени влияния и значимости рассматриваемых параметров, представлены в таблице 1:

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа

Параметр	ρ_1 / ρ_2	ρ_1	l_1 / l_2	l_1	$d_{\text{противовеса}}$
Влияние	0,339	-0,155	-0,654	0,473	0,0654

В дальнейшем планируется усовершенствовать уравнение регрессии до требуемого уровня ($R^2=0,95$) методом применения математических операций к массиву значений переменных, входящих в уравнение.

На основе этого предполагается разработать практические рекомендации по использованию противовесов при проектировании и эксплуатации ВЛ.

Литература

1. Халиман А.О. Молниезащитный шунт / А.О. Халиман ; науч. рук. Ю.В. Целебровский. — Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. 16 Всерос. науч. конф. молодых ученых, Но-восибирск, 5–8 дек. 2022 г. : в 11 ч. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. — Ч. 4. — С. 120–123. 1.

Д.А. Сапрыкин, студ.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС

В настоящее время в процессе преподавания дисциплины «Электромеханические переходные процессы в ЭЭС» при рассмотрении темы «Динамической устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС)» активно применяется метод площадей. Этот метод наглядно отражает энергетические соотношения в ЭЭС во время переходного процесса, однако не даёт представления об изменении параметров переходного процесса во времени.

В целях упрощения изучения условий динамической устойчивости ЭЭС может быть использован инструмент, позволяющий рассмотреть изменение параметров режима и условий устойчивости в терминах метода площадей в зависимости от параметров системы и её режима. Для разработки инструмента использовано математическое моделирование ЭЭС и численное решение траекторий движения системы.

Цель работы — создание компьютерной программы, способной с учётом данных о параметрах системы, исходном режиме и возмущающем воздействии рассчитать и построить траекторию движения системы в виде анимированного графика в координатах «угол ротора генератора — передаваемая активная мощность».

В ходе работы создана компьютерная программа, позволяющая наглядно проследить изменение условий динамической устойчивости при изменении схемно-режимных параметров ЭЭС путём построения анимированного графика изменения угла ротора генератора и объёма выдаваемой генератором активной мощности на основании данных о параметрах элементов электропередачи, исходного режима и сценария переходного процесса. Разработанная программа предназначена для использования в качестве визуального пособия при чтении лекций по дисциплине «Электромеханические переходные процессы в ЭЭС».

Литература

1. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. Для электроэнергет. спец. вузов // 4е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985. — 536 с., ил.
2. **Жданов П.С.; Под ред. Жукова Л.А.** Вопросы устойчивости электрических систем / Стереотипное издание. Перепечатка с издания 1979 г. — М.: Альянс, 2015. — 456 с., ил. — ISBN 978591872101-8
3. **Строев В.А., Кузнецов О.Н.** Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: Курс лекций: учебное пособие. М.: МЭИ, 2013. — 120 с. — ISBN 978-5-9902974-7-0

*Эрик уулу Элсуйор, асп., Тазабек уулу Айбек, соиск.;
рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф.
(КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек)*

ПРОБЛЕМЫ И СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Кыргызстан расположен в сердце Центральной Азии, горы занимают 90% территории республики. Климат умеренный, резко континентальный (жаркое лето и холодная зима). Высоковольтные воздушные линии (ВЛ) в горной местности проходят по трассе в труднодоступных и сложных местах. Сегодня обеспечение надёжности электроснабжения по высокогорным воздушным линиям электропередачи (ЛЭП) и устойчивости целостной электроэнергетической системы (ЭЭС) являются актуальными [1,2]. Рассмотрены проблемы высокогорных ВЛ-110-500 кВ и проведен анализ аварийных отключений авторами под руководством руководителя. Результаты анализа аварийности показали [2], что аварийные отключения обусловлены повреждениями проводов и грозозащитных тросов — 60%, изоляторов — 25%, опор — 5% и около 10% вследствие повреждения и прочих элементов ВЛ. Недоотпуск от аварийных отключений за 5 лет показан на рис. 1. Также, выявлены часто повреждаемые места в элементах ЛЭП. Потери электроэнергии, связанные с нерациональной эксплуатацией в высокогорных условиях, порождают проблемы энергосбережения, влияют на надёжность и оптимизацию затрат электроснабжения. Результаты анализа и исследования могут быть внедрены в ОАО «НЭС Кыргызстана».

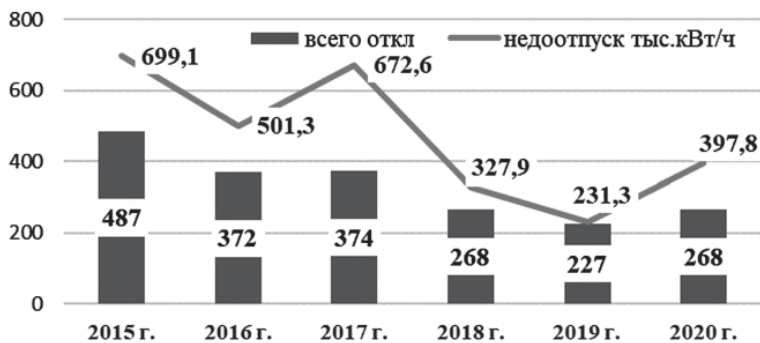


Рис. 1. Аварийные отключения в сетях ОАО «НЭС Кыргызстана»

Литература

1. Рахимов К.Р., Беляков Ю.П. Горные линии электропередачи. Б.: КТУ, 1999. 284 с.
2. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–500 кВ. Б.: Издательство ОАО «НЭС Кыргызстана», 2008. 38с.

А.С. Заманов, студ.;
рук. В.В. Максимов, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ НА КТЭЦ-2

В данной исследовательской работе была рассмотрена тема модернизация противоаварийной автоматики. АОПО. Научная новизна представленной работы автоматики ограничение перегрузки оборудования (АОПО) предопределяется тем, что, повышает пропускную способности сетей с сохранением срока службы первичного оборудования, предотвращения недопустимой по величине и длительности токовой нагрузки электрооборудования, которая может возникнуть в различных схемно-режимных ситуациях.

Существующие методы и средства противоаварийного управления не всегда обеспечивают необходимый уровень надежности. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих средств противоаварийного управления с целью повышения надежности электрических систем и сетей является актуальной задачей. Одним из наиболее экономически эффективных методов является совершенствование и разработка новых алгоритмов работы средств противоаварийной автоматики. В данной работе предложен метод оценки необходимости усовершенствования противоаварийной автоматики. Приведено общее описание метода, а также пример его использования для оценки необходимости усовершенствования противоаварийной автоматики. Для оценки метода в программных комплексах PSCAD и RastrWin3 реализованы электрические сети 110 кВ. Выполнен анализ режимов работы рассматриваемой электрической сети, а также проведено исследование адекватности работы автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО).

Внедрение существующий алгоритм работы АОПО, позволяющий исключить возможность отключения потребителей при аварийных событиях. Анализ результатов моделирования и расчета показывает эффективность предложенного метода и перспективность для обнаружения и выявления недостаточной эффективности противоаварийной автоматики

Литература

1. **Сафиуллин, Б.М.** Методы контроля воздушных линий электропередачи / Б.М. Сафиуллин, Н.В. Фатхелисламов, Д.М. Валиуллина // Тинчуринские чтения — 2021 «энергетика и цифровая трансформация» : Материалы 28–30 апреля 2021 года. — Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. — С. 50–52. — EDN WYIAYV.

Д.А. Баранов студ.; И.Ф. Галиев к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА НА ЗАПОЛЯРНОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Современная Россия находится в условиях западных санкций, прекращена деятельность многих компаний, например: Schneider Electric (Франция). Существует актуальная проблема изменения режима работы и эксплуатации импортного электрооборудования и систем управления, применяемых на действующих трансформаторных подстанциях (ТП).

ТП для электроснабжения потребителей 1 категории газового промысла запитана от двух независимых источников электроснабжения (ввод № 1 и ввод № 2). В случае перерыва питания по одному из вводов, с последующим восстановлением электроснабжения, существует два способа Восстановления нормальной работы (ВНР): 1) ВНР без перерыва питания на секциях шин, 2) ВНР с перерывом питания на секциях шин.

Требовалось изменить алгоритм работы ТП с ВНР без перерыва питания на ВНР с перерывом питания. Управление ТП выполнено на основе программируемого реле «ZelioLogic» (Schneider Electric). Для решения данной задачи была изучена оригинальная среда разработки ZelioSoft 5.4, язык Ladder Diagram (LD) среды разработки, составлена программа производственных испытаний для оперативного персонала.

В результате модернизирована программа управления ТП на ВНР с перерывом питания, добавлены блокировки в части ручного управления ТП, исправлены ошибочные строки и удалены лишние строки для оптимизации общей структуры программы, добавлены примечания.

Затем были успешно проведены производственные испытания по самостоятельно разработанной программе.

Полученный результат и испытания показали возможность работы с импортным оборудованием без привлечения компетенции зарубежного завода-изготовителя. Перспективы полученных результатов позволяют внедрить данную программу на других ТП под управлением на программируемых реле «ZelioLogic».

Литература

1. **Шарафутдинов, Р. Г.** Обучение основам программирования логического реле ONI PLR-s / Р.Г. Шарафутдинов, А.М. Валиев, О.В. Воркунов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. — С. 319–323. — EDN FRGMAD.

М. Балдорж, асп.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНГОЛИИ И ПРОГНОЗ ПРИРОСТА ЕЁ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Энергосистема Монголии по особенностям и характеристикам нагрузки разделяется на 5 региональных электроэнергетических систем. Самой крупной ЭЭС является Центральная, в которой сосредоточены больше 90% всех генерирующих мощностей страны и территориально охватывает примерно 60% страны. В целом, энергосистема страны дефицитная и для покрытия недостающей мощности имеются межгосударственные электрические связи с Россией и Китаем. При этом страна обладает большими запасами природных ресурсов для строительства традиционных и возобновляемых источников энергии и способна обеспечить всё электропотребление внутренним производством. Особенности ЭЭС Монголии следующие: низкая плотность нагрузки; низкая пропускная способность ЛЭП; большая продолжительность отопительного сезона обуславливающая дисбаланс между спросом и предложением электрической и тепловой энергии; превышение дневной нагрузки имеющихся мощностей, избыток мощности в ночное время; отставание ввода новых генерирующих мощностей от роста электропотребления; большая доля устаревших ТЭЦ, работающих на «износ», относительно небольшая передаваемая мощность по ЛЭП, имеющих большую протяженность (большой срок восстановления линий в аварийных режимах).

Была проведена оценка текущего состояния ЭЭС Монголии в целом и определена динамика роста электрической нагрузки в ЦЭЭС на 2030 год. Прогноз ожидаемых электрических нагрузок по состоянию на 2030 год показал, что максимум потребления мощности достигает 2345 МВт. С учетом существующих возможностей генерации и импорта дефицит к 2030 году составит примерно 1 ГВт.

Совокупность особенностей, присущих ЭЭС Монголии требует особого, комплексного подхода к формированию мероприятий ее перспективного развития. Одним из путей может быть применение различных видов распределенной генерации обеспечивающих покрытие графика нагрузки и территориально приближенной к потребителю для его обеспечения при потере связи с внешней ЭЭС в аварийных режимах.

Литература

1. Удинцев Д.Н., Балдорж М. Возможные пути развития электроэнергетической системы Монголии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 27–34.

С.П. Васильев, Н.А. Иванов, асп.;
рук. О.О. Хамисов, к.т.н., доц. (Сколтех, Москва)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Энергетика движется к парадигме Индустрии 4.0, которая предполагает интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) посредством развития виртуальных электростанций и микросетей [1]. ВИЭ интегрируются в электроэнергетическую систему (ЭЭС) посредством силовых преобразователей, построенных на высокочастотных транзисторах, которые значительно ускоряют переходные процессы в ЭЭС. В случае возникновения аварийных переходных режимов (ПР), в частности кратковременной нестабильности напряжения (КНН), диспетчеры физически не могут оперативно среагировать и принять решение. КНН связана с динамикой быстродействующих преобразователей и нагрузок [2]. Надежная и эффективная работа ЭЭС в условиях Индустрии 4.0 требует быстрого обнаружения возникающих нестабильностей в ЭЭС.

Настоящее исследование сосредоточено на вопросах моделирования КНН и анализа полученных в результате моделирования временных рядов. Новизна исследования состоит в комбинации методов обнаружения КНН, показателя Ляпунова (ПЛ) и кластеризации. Вклад авторов заключается в модификации расчета ПЛ посредством итеративного подбора ширины скользящего окна для улучшения чувствительности к возмущениям в ЭЭС; рассмотрении производной ПЛ как индикатора начала ПР; применении комбинированного метода для автоматической маркировки наборов измерений напряжения, позволяющем разделять характер ПР в ЭЭС — коммутации, короткое замыкание, КНН. Указанные результаты могут быть использованы для комплексного мониторинга ПР в ЭЭС, раннего выявления и устранения неисправностей, также в качестве инструмента для сглаживания последствий аварийных ПР для ВИЭ. Для реализации упомянутых методов применяются симулятор PSCAD и язык программирования Python.

Литература

1. **Pandey V., Sircar A. et al.** Accelerating the renewable energy sector through industry 4.0: optimization opportunities in the digital revolution // *International Journal of Innovation Studies* 7(2), pp. 171–188. 2023.
2. **Kundur P., Paserba J. et al.** Definition and classification of power system stability ieeecigre joint task force on stability terms and definitions // *IEEE Transactions on Power Systems* 19(3), pp. 1387–1401. 2004.

*Б.М. Жолдошова, соиск. (КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек);
рук. Ю.П. Симаков, к.т.н., проф. (КРСУ им. Б. Ельцина, г. Бишкек)*

О КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–35 КВ КЫРГЫЗСТАНА

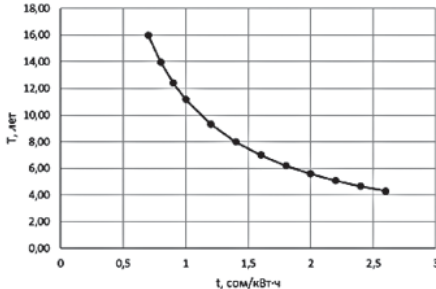


Рис. 1. График зависимости срока окупаемости от различных тарифов на электроэнергию

В [1] исследованы проблемы компенсации реактивной мощности в распределительных сетях в Кыргызстане и зарубежный опыт по управлению реактивной мощностью. Подробно рассмотрен пример установки компенсирующих устройств в распределительных сетях с целью уменьшения потерь активной мощности.

В качестве объекта были выбраны распределительные сети, питающиеся от подстанции ПС 35/10кВ «Рыбачье». Для этой сети был проведен расчет потерь активной мощности

до и после компенсации реактивной мощности, а также оценена технико-экономическая эффективность использования компенсации реактивной мощности.

После компенсации реактивной мощности суммарные потери активной мощности в процентах от суммарной мощности составили $\Delta P=3,29\%$, а потери энергии $-\Delta W=2,26\%$.

Учитывая, что правительством Кыргызской Республики рассматривается вопрос о повышении тарифов на электроэнергию, определены сроки окупаемости при различных тарифах на электроэнергию (рис. 1).

Результаты исследования будут использоваться при разработке методики расчета величины компенсации реактивной мощности, а также при совершенствовании нормативной базы, регламентирующей требования по компенсации реактивной мощности в электрических сетях КР.

Литература

1. **Жолдошова Б.М.** О целесообразности компенсации реактивной мощности в распределительных сетях 6–35 кВ // Известия КГТУ.2023. — № 3 С. 1604–1611.

*В.А. Фёдорова, В.Ф. Кириченко, аспиранты;
рук. Г.В. Глазырин, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ОБЩЕГО ПЕРВИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Общее первичное регулирование частоты (ОПРЧ) энергосистемы осуществляется в целях ограничения отклонений частоты от номинального значения для безопасной эксплуатации электростанций и минимизации риска отключения потребителей электроэнергии действием противоаварийной автоматики [1]. Требования к первичному регулированию частоты изложены в ГОСТ 55890-2013. В частности, регламентируется статизм, который должен находиться в пределах от 4 до 6%, и минимальное время набора/сброса мощности электростанциями. Вместе с тем практика показывает, что в некоторых случаях аварийные возмущения в энергосистемах приводят к незатухающим колебаниям частоты с последующим излишним отключением потребителей и генерации. Например, при наладке групповых регуляторов активной мощности в энергосистеме НТЭК (Норильско-Таймырской энергетической компании) устойчивого ОПРЧ удалось добиться только при статизме, равном 25%, что не соответствует ГОСТ. Таким образом, имеется необходимость детального анализа процессов при ОПРЧ и разработки новых усовершенствованных методов регулирования.

В рамках работы разработана математическая модель энергосистемы и её элементов — турбины с регулятором частоты вращения, генератора, нагрузки и других элементов структурной схемы. Для моделирования объединенной энергосистемы на ЭВМ использована программа Matlab [2].

Созданная модель позволяет проводить исследования регулирования частоты и обменной мощности по любому закону управления этими величинами. Окончательный выбор закона управления осуществляется с учетом технических возможностей изменения обменной мощности.

Литература

1. **Барзам А.Б.** Системная автоматика. — 4-е изд., перераб. доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 446 с.: ил.
2. **В.А. Fyodorova.** Mathematical model development for the study of the general primary frequency control in the power systems // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2023) : proc., Novosibirsk, 29 June – 3 July 2023.

Л.А. Веренцов, А.А. Пропп, студенты;
рук. М.В. Бурмейстер, ст. преп. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИЛОВОГО ИНВЕРТОРА С АЛГОРИТМОМ ПОДДЕРЖАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ К СЕТИ

В России наблюдается увеличение количества солнечных электростанций, подключаемых к электроэнергетическим системам (ЭЭС) с помощью инверторов. К данным установкам предъявляются новые требования для обеспечения их надёжной работы. Одним из требований к режиму выдачи мощности силовыми инверторами при снижении напряжения в точке общего присоединения (ТОП) к ЭЭС являются соблюдение *LVRT*-характеристики (англ. *Low Voltage Ride Through*) [1, 2]. При возникновении в ЭЭС больших внешних возмущений, наблюдается снижение или повышение напряжения в ТОП, что может привести к отключению СЭС. Для предотвращения излишних отключений может быть использован алгоритм поддержания напряжения (англ. *Grid-support*), задаваемый в виде $Q(U)$ -характеристики [1,2]. При снижении или повышении напряжения в ТОП — силовые инверторы, установленные на СЭС, начинают вырабатывать или потреблять реактивную мощность необходимую для поддержания напряжения в узле.

Цель работы — разработка имитационной модели силового инвертора с алгоритмом поддержания напряжения в ТОП. Данная модель позволяет определить допустимый диапазон $Q(U)$ -характеристики, обеспечивающей поддержание напряжения в ТОП в допустимом диапазоне.

В результате выполненной работы была разработана имитационная модель силового инвертора в *Matlab Simulink* с алгоритмом поддержания напряжения в ТОП. Разработанная модель учитывает актуальные нормативно-технические требования к СЭС, такие как *LVRT*- и $Q(U)$ -характеристики [2]. На основе проведённых опытов была подтверждена эффективность алгоритма поддержания напряжения в ТОП при внешних возмущениях, а также определены ограничения по максимально возможной выдаваемой и потребляемой реактивной мощности при значительном снижении и повышении напряжения.

Литература

1. Бурмейстер, М.В. Применение систем виртуальной инерции для регулирования частоты в изолированных энергосистемах: Автореферат на соискание канд. техн. наук. МЭИ. — Москва, 2023. — 20 с.
2. ГОСТ Р 70787-2023. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Возобновляемые источники энергии. Технические требования к фотоэлектрическим солнечным станциям. — Москва, 2023. — 9 с.

Секция 55

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Power supply

Председатель секции: к. т. н., доцент Шведов Галактион Владимирович

Секретарь секции: Королева Елизавета Сергеевна

Р.К. Зарипов, асп.; рук. Р.Х. Тукшаитов, проф. (КГЭУ, Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ И ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ

Коэффициент нелинейных искажений K_i [1] является важным показателем качества электроэнергии в низковольтных сетях [2]. При 100% времени регистрации в течение одной недели его среднеквадратическое значение согласно ГОСТ 32144-2013 не должно превышать 12%. За период длительного наблюдения единичные его значения могут существенно превышать указанное нормативное значение.

Выявить статистически достоверное увеличение K_i при уменьшении времени усреднения результатов измерения с 10 мин до 10 и даже 1 с при помощи анализаторов качества электрической энергии не удалось. Это обусловлено тем, что стандартное отклонение K_i во многих ЭС имеет сравнительно небольшие величины (в пределах 3–4%). Вместе с тем, применяя вероятностный подход, руководствуясь законом нормального распределения и фоновым уровнем стандартного отклонения K_p , установлено, что его запредельное значение с вероятностью $P = 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$ в течении 7 суток может достигать 20–30%. Это может вызвать прерывание важных технологических процессов, неисправность оборудования и снижение надежности их работы.

Таким образом, предложенная методика позволяет на основе оценки величины стандартного отклонения K_i аналитически оценить уровень запредельных его значений для прогнозирования вероятных отказов электроснабжении предприятий.

Литература

1. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д. О коэффициентах, применяемых для характеристики уровня высших гармоник тока и напряжения, и унификации их наименований. Часть 1 // Практическая силовая электроника № 3 (83). 2021. С. 53–56.
2. Тукшаитов Р.Х., Зарипов Р.К. Определение коэффициента мощности искажения нагрузок по номограмме на основе измерения коэффициента нелинейных искажений по току // Практическая силовая электроника № 4 (88). 2022. С. 53–55.

Р.К. Зарипов, асп., Е.К. Наседкин, студ., И.З. Нургалиев, студ.;
рук. Р.Х. Тукшаитов, проф. (КГЭУ, Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НАГРУЗКИ ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Один из важных показателей качества электроэнергии согласно ГОСТ 32144-2013 является несимметрия напряжения в трехфазных электросетях (ЭС). Она вызывает эмиссию высших гармоник (ВГ) в ЭС нагрузками с разным уровнем нелинейности их вольтамперных характеристик [1]. Появление несимметрии напряжения возможно также в однофазных ЭС при наличии нагрузки с несимметричной вольтамперной характеристикой.

Согласно ГОСТ 32144-2013, значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} не должно превышать 4% в течение 100% времени регистрации в одну неделю.

Для изучения зависимости уровня эмиссии ВГ от величины несимметрии напряжения в ЭС, разработана установка, обеспечивающая физическое моделирование разных уровней несимметрии напряжения ЭС, после оцифровки [2] результатов проведена предварительная оценка ее влияния на уровень коэффициента нелинейных искажений входного тока нагрузок K_i .

Проведенное физическое моделирование несимметрии напряжения сети позволило расширить представление о механизме формирования ВГ в ЭС и изыскивать способы их снижения.

Литература

1. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д. О коэффициентах, применяемых для характеристики уровня высших гармоник тока и напряжения, и унификации их наименований. Часть 1 // Практическая силовая электроника № 3 (83). 2021. С. 53–56.
2. Тукшаитов Р.Х., Зарипов Р.К. Об одном эффективном способе снижения уровня эмиссии светодиодными лампами в электросеть высших гармоник промышленной частоты // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. 2023. № 1 (76). С. 70–74.

*Г.С. Миронов, Р.Р. Халиков, студенты; В.В. Черемисин, асп;
рук. В.В. Зажигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОПРОВОДНЫХ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10 КВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Одной из основных задач эксплуатирующей организации распределительных сетей является надежное и качественное электроснабжение потребителей. Для решения данной задачи созданы стационарные распределительные электрические сети.

В процессе текущей эксплуатации системы электроснабжения возникают ситуации, которые требуют иного подхода к решению задач обеспечения электрической энергией потребителя, а именно: подключение электрического оборудования механизации объектов строительства; электроснабжение геолого-разведывательных экспедиций, оперативных подразделений, которые выполняют задачи в условиях ЧС, объектов АПК сезонного характера и др. Решением проблемы в данном случае могут стать быстровозводимые мобильные сети, входящие в комплект мобильной подстанции.

В настоящее время на кафедре ЭЭС НИУ «МЭИ» проводится работа по созданию мобильных быстровозводимых сетей, обеспечивающих электрической энергией потребителей в вышеприведённых условиях. Такие сети могут применяться во временных или аварийных ситуациях с целью скорейшего восстановления электроснабжения потребителей. Отличительной особенностью такого подхода является быстрое временное развертывание и сворачивание быстровозводимой сети.

В докладе представлена информация об оценке целесообразности мобильных сетей, которая будет требовать учета множества факторов и зависеть от конкретной ситуации и необходимых для достижения проектных задач и целей. В ходе данной работы будут рассмотрены экономическая целесообразность, технические аспекты, а также вопросы электробезопасности и технической безопасности сооружения и эксплуатации мобильных быстровозводимых сетей (обоснование типоразмера).

Результатом работы по данной теме станет разработка комплекта быстровозводимой сети.

Литература

1. **Будзко И.А. и др.** Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. — М.: Колос, 2000. — 536 с.

*А.Б. Калмурзаев, асп.; рук. С.М. Асанова, к.т.н., доц.
(КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек)*

АЛГОРИТМ ВЫБОРА СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКА, ПИТАЮЩЕГО ГРУППУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В ПОНЯТИЯХ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Выбор сечения проводника, питающего группу электроприемников, осуществляется после проведения расчёта электрических нагрузок (РЭН).

Применяемые на практике методы РЭН основаны на методе статического моделирования, что приводит к погрешностям выбора сечения проводника. Следовательно, работы, которые могут указать путь к уменьшению такой погрешности, актуальны.

В работе предлагается алгоритм выбора сечения проводника, питающего группу электроприемников с использованием понятий системы массового обслуживания (СМО).

Количество каналов (приборов), соответствующее терминологии СМО, сопоставлено с понятием длительно допустимой плотности тока $j_{д.д.} = I_{д.д.}/S$ в сочетании с понятием постоянного времени нагрева проводника, где S — площадь поперечного сечения проводника; $I_{д.д.}$ — неизменная во времени длительно допустимая по условиям нагрева нагрузка. В нашей задаче смысл количества каналов (приборов) понимается так. Допустим, что группа электроприемников (ЭП), получающая питание от силового пункта (СП), постоянно включена в сеть. Тогда, через питающий СП кабель, протекает неизменный по времени суммарный ток I_{Σ} , и плотность тока в кабеле равна $j = I_{\Sigma}/S$, где S — сечение проводника питающего СП кабеля. Если рассчитанная плотность тока j равна длительно допустимой плотности тока $j_{д.д.}$, соответствующей питающему СП проводнику, то значит, что все каналы обслуживания СМО задействованы, и проводник работает без перегрузки. Если режимы работы ЭП стохастичны, т.е. ЭП включаются и отключаются случайным образом, то справедливо неравенство $j \leq j_{д.д.}$. Учитывая маловероятность одновременного включения всех ЭП, и с учетом значения постоянного времени нагрева проводника, можно считать $j < j_{д.д.}$. Следовательно, не все каналы обслуживания СМО (проводника) задействованы, значит, можно уменьшить сечение проводника до такого значения, чтобы соблюдалось равенство $j = j_{д.д.}$, соответствующее уменьшенному сечению проводника.

В работе было реализовано моделирование работы СМО в среде LabVIEW, блок-диаграмма которого разработана в соответствии с вышеизложенным алгоритмом. Результаты моделирования показали перспективность предложенного подхода.

С. Фань, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., дон. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Изменение климата на нашей планете, привело к огромному кризису в устойчивом развитии человечества, и сокращение выбросов углерода является одним из важных путей решения этого кризиса.

В последнее десятилетие развитие электромобилей способствовало удешевлению и повышению эффективности литий-ионных аккумуляторов. В этих условиях стало эффективным применение аккумуляторов совместно с ветровыми и солнечными электростанциями. Однако быстрый рост производства и использования силовых аккумуляторов породил проблемы нехватки ресурсов и энергопотребления, что приводит к прямым или косвенным выбросам парниковых газов, поэтому необходимо рассчитать выбросы углерода за весь жизненный цикл литий-ионных аккумуляторов и изучить возможности снижения выбросов углерода.

Выбросы углерода и воздействие на окружающую среду на этапе производства литиевых аккумуляторов доминируют над всем жизненным циклом аккумулятора. Для условий Китая выбросы углерода на этапе производства литий-ионных никель-кобальт-марганцевых аккумуляторов составляют 91,21 кг CO₂-экв/кВт·ч и 154,1 кг CO₂-экв/кВт·ч в период их эксплуатации, что связано в основном с косвенными выбросами углерода при потреблении энергии аккумуляторами. Выброс углерода при последующей утилизации аккумуляторов по истечению срока службы составляет минимум 2,68 кг CO₂-экв/кВт·ч, что соответствует лучшему методу гидрометаллургической переработки на сегодняшний день.

Развитие электроэнергетики в направлении экологически чистого, низкоуглеродного производства, использование возобновляемых источников энергии там, где это возможно, для снижения выбросов загрязняющих веществ при высоком потреблении электроэнергии, а также расширение переработки аккумуляторов могут способствовать снижению выбросов углерода.

Литература

1. **Chen QW, Lai X, Gu HH, et al.** Investigating carbon footprint and carbon reduction potential using a cradle-to-cradle LCA approach on lithium-ion batteries for electric vehicles in China // *Journal of Cleaner Production*, 2022.
2. **Kelly, J.C., Dai, Q. & Wang, M.** Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries // *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 2020.

*С.С. Кочнев, докторант (ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ», г. Москва);
А.И. Зуев, аспирант; А.Е. Коногин, Е.И. Архипова, студенты;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПИТАЮЩЕЙ ЛИНИИ 0,4 КВ

Протяженность сетей 0,4 кВ в Российской Федерации по данным ПАО «Россети» по состоянию на 2016 г. составляет около 771 тыс. км, что соответствует 37,2% от общей протяженности сетей 0,4–330 кВ [1]. Снижение аварийности в сетях 0,4 кВ позволит значительно уменьшить недоотпуск электроэнергии и вероятность случаев электротравматизма. Обрыв нулевого проводника или однофазное замыкание на землю не отключаются вовсе или отключаются со значительной задержкой по времени применяемыми в настоящее время аппаратами защиты.

В предлагаемом устройстве обеспечивается выявление вида аварийного режима (обрыв нулевого проводника, замыкание фазного проводника на землю и пр.) и причин его возникновения. Это достигается за счет диагностирования состояния фазных проводников, нулевого совмещенного проводника и заземляющего устройства по показаниям приборов на стороне потребителя. Также с помощью устройства сокращается время на поиск неисправностей за счет того, что все данные рассчитываются и передаются в режиме реального времени посредством удаленного оповещения, реализованного с помощью дистанционной передачи информации.

Использование устройства позволит расширить функциональные возможности диагностирования состояния питающей сети за счет контроля обрыва линейных проводников линии электропередачи и состояния связи с заземляющим устройством, а также обеспечить дистанционную передачу данных о виде аварийного режима и причинах его возникновения.

По представленному устройству в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент) получен патент на изобретение RU 2807681 C1 от 21.11.2023 (бюл. № 33) по результатам рассмотрения поданной заявки № 2023104861 от 18.04.2023 [2].

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» — М.: ПАО «Россети», 2017. — 195 с.
2. **Удинцев Д.Н., Кочнев С.С., Зуев А.И., Коногин А.Е., Архипова Е.И.** Способ диагностики состояния питающей линии 0,4 кВ. Патент на изобретение RU 2807681 C1 от 21.11.2023. Заявка на изобретение № 2023109861 от 18.04.2023.

М.А. Амадор Бланко, студ.;
рук. Н.Ю. Шевырева, к.т.н., доц.
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ОТДЕЛЕ СБЫТА ТОПЛИВА, МАТАНСАС

Данная работа посвящена процессу автоматизации электростанций и подстанций в Территориальном отделе продажи топлива, Матансас, Куба, с акцентом на внедрении технологии Schneider Electric. Основной целью этого исследования является повышение оперативной эффективности, надежности и управления ресурсами в энергетическом секторе региона.

Выполнен обзор теоретической базы, исследована система автоматизации, применяемая в производстве и распределении электроэнергии. Особое внимание уделяется актуальности современных технологий для решения текущих вызовов в снабжении электроэнергией, и подчеркиваются преимущества технологии Schneider Electric в данном контексте.

Структура автоматизации подстанции с использованием технологии Schneider Electric включает в себя распределенные системы управления, где все компоненты взаимосвязаны для эффективного управления генерацией, передачей и распределением энергии. Системы управления SCADA наблюдают и управляют оборудованием, а реле защиты обеспечивают безопасность системы от перегрузок и сбоев. Устройства измерения предоставляют данные в режиме реального времени для точного мониторинга. Эта технология интегрирует передовые протоколы связи, такие как стандарт IEC 61850, для обеспечения безопасной передачи данных между устройствами. Кроме того, кибербезопасность является приоритетом, с использованием решений, защищающих от угроз и гарантирующих целостность и конфиденциальность критической информации.

Результаты исследования не только способствуют технологическому развитию в энергетическом секторе, но также устанавливают стандарт для автоматизации электростанций и подстанций в подобных регионах.

Литература

1. Проект комплексной реконструкции на электроподстанции территориального отдела сбыта топлива Матанзас.
2. **Padilla E.** Automatización de Subestaciones aplicando IEC 61850 // 2020.
3. **Kumar S., Abu-Siada A., Das N., Islam S.** Review of the Legacy of IEC 61850 Protocols Encompassing Substation Automation System // Electronics, 2023.

*Х. Буэно Гарсия, студ.; рук. Н.Ю. Шевырева, к.т.н., доц.
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИЙ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ NICO LORÉZ, КУБА

Данная работа направлена на создание системы автоматизации электроподстанций нефтеперерабатывающего завода Nico Lopez в Гаване, Куба, с использованием в основном технологий компании АВВ. Автоматизация подстанции направлена на повышение эффективности процесса распределения электроэнергии на нефтеперерабатывающем заводе и его надежности.

При выполнении этой работы был выполнен поиск по всей теоретической базе, посвящённой автоматизации электрических подстанций, особенно в современных технологиях компании АВВ. Методология исследования включает в себя изучение существующих электростанций и подстанций на нефтеперерабатывающем заводе Nico Lopez и, таким образом, определение того, какие из них нуждаются в модернизации. При проектировании системы управления используется распределенная система управления (DSC), которая благодаря своей гибкой и модульной схеме дает возможность системе расти по мере необходимости. Для реализации этой системы управления выбраны такие средства автоматизации как полевое оборудование, контроллеры и серверы, и определены протоколы связи для каждого оборудования, обеспечивающие кибербезопасность сети управления. Технология, которая использовалась для мониторинга и управления этими подстанциями, принадлежит компании Siemens. Она представляет собой автоматическую систему управления, позволяющую дистанционно измерять, контролировать, и эксплуатировать все электрические подстанции.

Благодаря созданию системы автоматизации электроподстанции нефтеперерабатывающего завода интегрированы в единую сеть, что значительно повышает эффективность распределения электроэнергии. Результаты демонстрируют значительное повышение эффективности работы и снижение потерь энергии.

Литература

1. Техническое задание на инженерный проект по созданию электрической диспетчерской и связи между электрическими подстанциями нефтеперерабатывающего завода Nico Lopez.
2. **Grigsby, L.L.**, Electric Power Generation, Transmission and Distribution, Third Edition, CRC Press, New York, 2012.
3. **Bayliss, C.R., Hardy, B.J.**, Transmission and Distribution Electrical Engineering, Fourth Edition, Elsevier, Boston, 2012.

П. Ивэнь, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СНИЖЕНИЯ МАКСИМУМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ КВАРТИРЫ

По мере повышения уровня жизни растет спрос на электроэнергию в быту, увеличивается число различных электрических и электронных приборов. Большинство таких приборов потребляют номинальную мощность на коротком интервале времени. Для эффективной работы энергосистемы необходимо разумно управлять бытовым электропотреблением для снижения пиковых нагрузок.

Для анализа были выбраны несколько типичных бытовых приборов в квартире: 1 — стиральная машина, 2 — посудомоечная машина, 3 — духовой шкаф и 4 — хлебопечка [1]. Рассмотрим наихудший случай возможного включения данных бытовых приборов (слева на рис. 1): пиковая максимальная нагрузка составит 7244 Вт. При оптимизации (изменении) моментов запуска отдельных приборов не более чем 30 минут получим, что пиковая мощность составит всего 3629 Вт (справа на рис. 1).

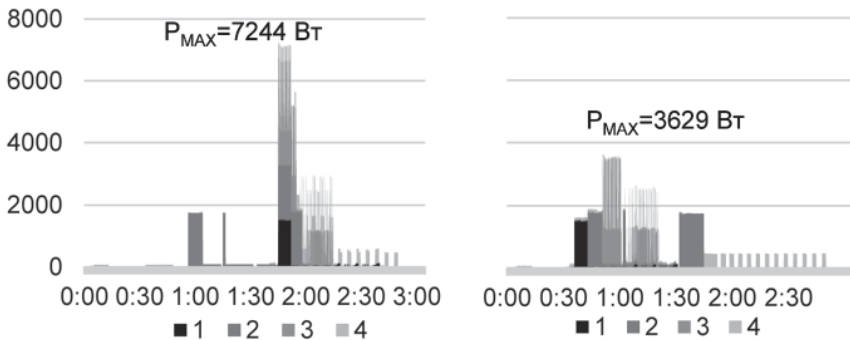


Рис. 1. Суммарное электропотребление четырьмя электроприборами

Таким образом, незначительно изменяя время старта отдельных бытовых приборов в квартире можно достичь существенно уменьшения пиковых значений и сделать процесс электропотребления более равномерным. Дальнейшее развитие интеллектуальных измерений позволит автоматически оптимизировать электропотребления домохозяйств с целью повышения его экономичности и экологичности.

Литература

1. G.V. Shvedov, I.A. Morsin, A.S. Demidenko, S.A. Kudelina and G.A. Parfenov, "Analysis of the maximum electrical load of multi-apartment residential buildings in the power supply systems of cities", 2022. doi: 10.1109/reep53907.2022.9731476.

Л. Ван, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК КВАРТИР В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

По сравнению с XX веком сильно изменились и неоднократно обновились различные бытовые приборы. В связи с этим существенно изменяются графики нагрузки бытовых потребителей [1].

В работе анализируется закономерность потребления электроэнергии в квартире в многоэтажном жилом доме в Москве осенью 2022 года. Данные были получены с счетчиков электроэнергии. Полученные данные были обработаны в EXCEL и построены усредненные графики нагрузки за рабочие дни, субботу и воскресенье.

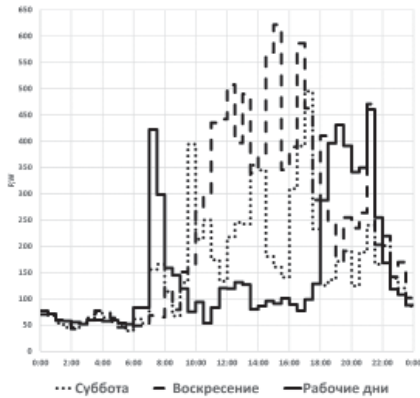


Рис. 1. Усредненные графики нагрузки за рабочие и выходные дни

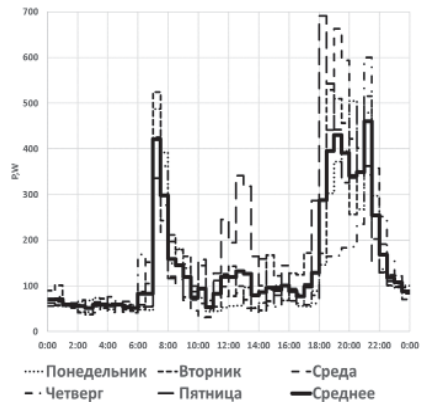


Рис. 2. Усредненные графики нагрузка за рабочие дни

Полученные графики показывают, что:

1. В будние дни осенью нагрузка выше утром и вечером, причем наибольшая нагрузка приходится на вечер с 21 до 21:30.
2. В выходные дни осенью нагрузка распределяется в основном днем, причем наибольшая нагрузка приходится на период с 15 до 15:30 (суббота) и с 17 до 17:30 (воскресенье).

Литература

1. Демиденко А.С., Шведов Г.В. Суточные графики электрических нагрузок Многоквартирных домов в системах электроснабжения городов // Энергосбережение теория и практика: труды Десятой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 19–23 октября 2020 года. — Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2020. — С. 123–127. — EDN CTVVOT.

М.Т. Перинский, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСТАНОВКИ ВДТ 10(6) КВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В последнее десятилетие в распределительных сетях напряжения 10(6) кВ широко применяются вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) для регулировки напряжения на линиях. В основном ВДТ используются на длинных линиях для обеспечения требуемого уровня напряжения при максимальных нагрузках [1]. С учетом все более широкого применения появляется необходимость рассмотреть влияние установок ВДТ на значение максимальной потребляемой мощности в данной линии.

Цель работы — исследовать влияние работы ВДТ на уровень потребляемой мощности при его включении в ЛЭП 6–10 кВ. Проведен расчет режимов линии до включения ВДТ, а также при различных значениях рабочего ответвления ВДТ [2]. При исследовании были использованы различные типы нагрузки — асинхронные двигатели, лампы накаливания, люминесцентные лампы, электрические нагревательные приборы. Также была составлена математическая модель ЛЭП без ВДТ и с ВДТ.

Моделирование показало, что включение ВДТ в ЛЭП приводит к росту потребляемой мощности на 15% [3]. Из этого можно сделать вывод, что зависимость роста потребляемой мощности прямо пропорциональна увеличению напряжения. Результаты исследования следует учитывать при проектировании ВДТ.

Литература

1. **СТО 34.01-3.2.17-014.1-2020** Методические указания по применению вольтодобавочных трансформаторов (пунктов регулирования напряжения) 6–20 кВ и вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ в линиях электропередачи распределительных сетей. Том 1.1. Методические указания.
2. **Ершевич В.В., Зейлигер А.Н., Илларионов Г.А.** Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1985. — 352 с.
3. **Герасименко А.А., Федин В.Т.** Передача и распределение электрической энергии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. — 715 с.

С.В. Артеменкова, студ.;
рук. О.В. Наумов, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время во всем мире стремительно расширяется сфера применения светодиодных технологий освещения. Данные источники света безукоризненны по таким параметрам, как световая отдача, температурные диапазоны эксплуатации, срок службы, электро- и пожаробезопасность, минимум затрат на техническое обслуживание. Также светодиодные источники света имеют нелинейную вольтамперную характеристику, что заставляет задуматься об изменениях, вносимых ими в параметры электроэнергии питающей сети. Беспереывный рост доли и мощности источников света с нелинейными вольтамперными характеристиками приводит к возникновению проблемы качества электроэнергии. Ухудшение параметров качества электроэнергии (ПКЭ) влечет за собой увеличение потерь в сети, нарушение работы электроприемников, создает опасность возникновения резонанса и перегрузку емкостных цепей. Чаще всего потребителем электроэнергии является нелинейная нагрузка. В таком случае в токе потребления возникают гармоники сетевой частоты, возбуждаемые выпрямителями переменного тока и преобразователями. Для подавления нежелательных компонентов спектров тока и напряжения можно установить пассивные фильтры гармоник в распределительной сети освещения. Наибольшую эффективность такой фильтр будет иметь при непосредственном подключении между источником питания и нагрузкой.

Вопрос влияния светодиодных ламп на ПКЭ изучается, однако отсутствует информация, насколько изменятся характеристики электроэнергии, если источники света имеют функцию регулирования светового потока в системах автоматизированного управления освещением. Ранее не изучался вопрос влияния модуля автоматического регулирования на ПКЭ. С целью выявления влияния светодиодных светильников с системой регулирования светового потока на ПКЭ планируется провести исследования с помощью анализатора качества электрической энергии для группы светильников с автодиммированием.

Литература

1. **Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г.** Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // *Электроэнергетика. Передача и распределение*, 2020. № 1 (58). С. 38–39.

В.А. Хомичев, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ МАКСИМУМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ КВАРТИРЫ

В наши дни вопросы исследования электрических нагрузок жилых зданий приобретают особую актуальность в связи с применением новых электроприборов и цифровизации всех сфер жизни человека. В наибольшей степени эти изменения коснулись основы жилого здания — квартиры. В справочной литературе приведены значения удельной электрической нагрузки, рассчитанные в 70–90-е годы. В целях актуализации значений нагрузки следует рассмотреть процесс электропотребления квартиры. В данной работе исследовался характер потребления активной мощности на вводе в квартиру в часы вечернего максимума выходных дней в зимний сезон. На основе фактических измерений был построен суточный график нагрузки всех воскресений, так как в этот день чаще всего наблюдается абсолютный максимум нагрузки [1]. Для данного графика анализировалось распределение максимумов активной мощности в течение суток. Для рассматриваемого дня можно выделить вечерний максимум в период с 18:30 до 20:10. Для данного максимума была получена гистограмма распределения случайной величины максимумов активной мощности, представленная на рисунке 1.

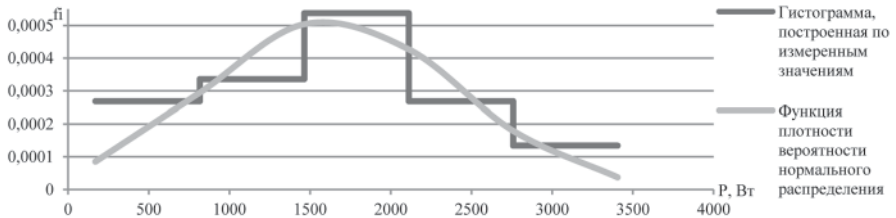


Рис. 1. Гистограмма распределения активной мощности в часы вечернего максимума

В результате исследования выявлено, что распределение значений мощности в часы вечернего максимума соответствует нормальному закону распределения случайной величины с математическим ожиданием 1635 Вт и среднеквадратическим отклонением 773 Вт. Полученные результаты можно использовать при проектировании жилых зданий для актуализации расчетных электрических нагрузок квартир.

Литература

1. **G. V. Shvedov, I. A. Morsin, A. S. Demidenko, S. A. Kudelina and G. A. Parfenov**, “Analysis of the maximum electrical load of multi-apartment residential buildings in the power supply systems of cities,” 2022 4th International Youth Conference on REEPE, Moscow, Russian Federation, 2022.
2. **Вентцель Е.С.**, Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. — М.: Высшая школа, 2000. — 480 с.

А.Н. Юсупова, студ.; Д.М. Валиуллина, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Измерение качества электрической энергии осуществляется с помощью специальных устройств и приборов. Существуют различные виды анализаторов электроэнергии. В процессе проверки выявляются параметры энергосистемы, которые анализируются на соответствие ГОСТам и нормативной документацией. ГОСТ определяет ряд показателей качества электрической энергии: отклонения частоты; длительность провала напряжения и колебания; напряжение импульсивное; несимметричность внутри трехфазных систем и др. [1].

Отклонения от установленных значений указывает на проблемы в работе оборудования. В таких ситуациях наблюдается снижение мощности и надежности оборудования, повышение расхода энергии и нерациональности использования ресурсов.

Анализатор качества электроэнергии выполняет функцию проверки величин и уровень соответствия требованиям. Принцип его работы основан на измерителе электрических величин. Аппарат фиксирует значения тока и напряжения за короткие интервалы времени. Современные технологии позволяют получить исчерпывающую информацию о работе системы: постоянное отклонение напряжения; пиковые нагрузки и токи; природа переходных процессов в сети; и др.

Контроль за работой техники осуществляется с целью выявления дефектов в электрической сети и их устранения. Для выполнения задания требуется подключить анализатор к системе.

Полученная информация обрабатывается с помощью математических алгоритмов. Это позволяет достигнуть ряда целей: рассчитать параметры работы; проанализировать качество электроэнергии; установить количество энергии.

Показатели измеряются на определенном отрезке времени. Низкое напряжение — это самая частая причина плохого качества энергии. Это значение анализируется дважды в год. Другие нормы определяются один раз в 12 месяцев.

Литература

1. **Т.И. Хилажев, Д.М. Валиуллина, Р.М. Хайретдинов** / Системы контроля качества электрической энергии // Тинчуриные чтения — 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. — Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. — С. 67–68. — EDN DLVJOZ.

*И.Д. Николаев, студ.;
рук. О.И. Лаптев, к.т.н. (НГТУ, Новосибирск)*

ИЗМЕРЕНИЕ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Основной характеристикой электромагнитного трансформатора напряжения является характеристика напряжения. Эта характеристика используется при моделировании для исследования феррорезонансных процессов в трансформаторах напряжения, и может быть получена расчётным путём и экспериментально. Для получения опытной характеристики необходимо насытить магнитопровод трансформатора, чтобы магнитная индукция достигла величины порядка 2 Тл. Для этого нужно приложить к его обмотке $1,5...2U_{\text{ном}}$ на частоте 50 Гц, что может привести к его повреждению. Но, если приложить к обмотке напряжение частотой 25 Гц, то магнитопровод трансформатора насытится при напряжении, не превышающем номинальное.

В рамках данного исследования было выполнено измерение характеристики намагничивания тестового трансформатора ТП-131-7 (220/12В) со стороны обмотки НН при помощи мощного аудиоусилителя TDA8932 (мощность — 35 Вт). В качестве источника сигнала частотой 25 Гц использовалась звуковая карта компьютера. Результат измерения приведен на рис. 1.

Результаты измерения подтвердили возможность измерения характеристики намагничивания при помощи источника низкой частоты. Направление дальнейшей работы — разработка силового инвертора достаточной мощности для измерения характеристик намагничивания трансформаторов напряжения 6–35 кВ (со стороны обмотки НН).

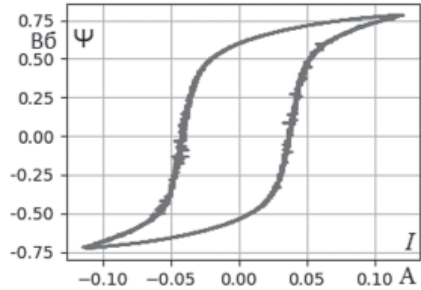


Рис. 1. Результат измерения кривой намагничивания ТП-131-7

Литература

1. **Поляков В.С.** Феррорезонанс в электрических сетях напряжением 6–500 кВ. УДК 621.311, 2021.

Р.Ч. Исмагилов, студ.;
рук. В.К. Козлов, проф. (КГЭУ, Казань)

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ

Электрическая сеть — совокупность электроустановок, подстанций, распределительных устройств и линии электропередач, предназначенных для передачи и распределение электроэнергии. [1].

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях — одно из важнейших направлений электроснабжения. На данный момент существует ряд проблем, связанных с низким качеством электроэнергии и потерь в электрических сетях.

Условно потери электроэнергии делят на коммерческие и технологические. Технологические потери устранить невозможно, так как большинство предприятий пользуются устаревшим оборудованием. А коммерческие потери устранить сложно, так как есть неофициальные потребители и счет выставить некому [2].

На примере сельскохозяйственных предприятий можно показать всю проблему досконально:

- сельские распределительные электрические сети находятся далеко от центра питания;
- низкое качество электроэнергии и надежность электросетей;
- значительные потери электроэнергии.

Мероприятия, снижающие потери, делятся на несколько этапов: совершенствование учета электроэнергии, способов и средств передачи информации, реконструкция электрических сетей, а также совершенствование и автоматизация управления режима работы электросетей [3].

Таким образом, основные способы снижения потерь электроэнергии состоят в том, чтобы автоматизировать и совершенствовать электросети, а также улучшить учет и передачу по использованию сети. Например, заменив устаревшие счетчики современными, установив электросчетчики на границе балансовой принадлежности, улучшив слежение за несанкционированными подключениями потребителей к сетям, выявляя хищения электроэнергии мимо электросчетчика [4].

Литература

1. **Кудрин Б.И.** Электроснабжение промышленных предприятий.
2. **Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д.** Электроснабжение промышленных предприятий и установок // М.: Энергоатомиздат. — 1989.
3. **Косоухов Ф.Д., Кулагин С.А., Филипов А.О.** Энергоснабжения в сельских распределительных сетях.
4. **Галимова Г.Ф.** Внедрение интеллектуальных электрических сетей.

*Е.Р. Редькина, студ.; В.В. Черемисин, руководитель компании
Кабельного завода «ЭКСПЕРТ КАБЕЛЬ»;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОКЛАДКЕ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ БЫСТРОВОВОДИМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИСХОДЯ ИЗ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Быстровозводимые электрические сети становятся все более актуальными в современных условиях. Одним из важных элементов энергетической инфраструктуры являются кабельные линии (КЛ), предназначенные для подключения мобильных комплектных трансформаторных подстанций (МКТП), которые в совокупности обеспечивают возможность быстрого и простого подключения потребителя к сети. Правильный выбор сечения КЛ — это комплексная задача, которая требует учета многих факторов, включая пропускную способность, безопасность и экономические соображения. Для быстровозводимых сетей существуют дополнительные требования к выбору сечения кабеля, такие как минимальный вес, легкость установки, устойчивость к механическим повреждениям.

Прокладываются мобильные сети в основном по грунту или по имеющимся конструкциям, при этом механические нагрузки не значительны. Но возникают сложности при необходимости перехода через дороги. Для этого необходимо знать максимально возможные расстояния пролетов для разных сечений кабеля.

Для определения нормативных нагрузок следует принимать наиболее неблагоприятные сочетания климатических условий [2]. В работе расчет по механической прочности произведен на примере кабеля для быстровозводимых сетей EXPERT class МИП 1х2,5 на 10 кВ, имеющего минимальное значение сечения, разработанного одним из ведущих производителей кабельной продукции в РФ Кабельным заводом «ЭКСПЕРТ-КАБЕЛЬ», для всех регионов России, за исключением условий крайнего севера. В результате расчета получено максимальное расстояние пролетов 10 м, что достаточно для перехода через двухполосные дороги. При пересечении с более широкими дорогами потребуются установка дополнительной опоры. Например, на полосе, разделяющей транспортные потоки разных направлений.

Литература

1. **Крюков К.П., Новгородцев Б.П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. — 2-е изд.: Энергия, Ленингр. отд-ние. 1979.
2. **Правила устройства электроустановок. ПУЭ** (Глава 2.5. Климатические условия и нагрузки).

*И.А. Пузанов, студ.; Я.И. Крупенева, асп., студ.;
рук. Е.В. Болоев, к.т.н. (ИРНТУ, ИСЭМ СО РАН, Иркутск)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАЗ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИКОВ К НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА РАЗНОСТЕЙ ФАЗНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ МЕЖДУ МОМЕНТАМИ ВРЕМЕНИ

Интеллектуальные однофазные и трехфазные электросчетчики, устанавливаемые у потребителей в низковольтных сетях, являются многофункциональными приборами, предназначенными для: контроля и коммерческого учета электроэнергии; дистанционного отключения/включения абонентов и ограничения их энергопотребления; измерения параметров режима электросети и показателей качества электроэнергии с передачей этих данных в центр сбора и обработки данных (ЦСОД) системы учета. Хранящиеся в ЦСОД измерения могут быть использованы электросетевыми компаниями для решения актуальных задач: балансирования фазных нагрузок; выявления безучетного и бездоговорного потребления электроэнергии; выбора узла и схемы подключения новых потребителей и возобновляемых источников энергии; мониторинга режима низковольтной сети. Но подготовить исходные данные для решения этих задач по хранящейся в ЦСОД информации не удастся, так как отсутствуют сведения о фактическом подключении электросчетчиков к фазам сети. Задачу определения фактического подключения счетчиков потребителей к фазам электрической сети принято называть фазовой идентификацией (ФИ). Наиболее эффективным методом ФИ не требующим использования специальных устройств и привлечения обслуживающего персонала является программный метод корреляционного анализа [1], одновременно измеренных счетчиками напряжений, хранящихся в ЦСОД. Для достоверной идентификации фаз подключения счетчиков методом корреляционного анализа напряжений необходима большая выборка измерений. В работе для решения задачи ФИ по небольшой выборке до 10 измерений вместо напряжений предлагается использовать разности напряжений между моментами времени с расчетом коэффициентов корреляции попарно для этих разностей. Эффективность предложенного подхода продемонстрирована на реальных измерениях напряжений в сети.

Литература

1. **Кузькина Я.И.** Идентификация фаз подключения интеллектуальных счетчиков в низковольтной распределительной сети / Я.И. Кузькина, И.И. Голуб // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 1. С. 135–144.

*Д.Т. Косенко, Е.А. Ионенко, И.С. Польшалин, студенты;
С.В. Пожидаев, асп.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ОБРЫВЕ ПРОВОДНИКА

Протяженность воздушных линий 6–10 кВ по данным [1] составляла 962 933,5 км, что составляет 46,5% от длин воздушных линий 0,38–110 кВ. Протяженность воздушных линий 6–10 кВ составляет большую часть от воздушных линий России и аварии в этих сетях составляют около 70% от всех отключений. Обрыв фазного проводника оставляет около 12% от других повреждений в сетях 6–10 кВ. Так как эксплуатация сетей с изолированной нейтралью в режиме ОЗЗ не регламентируется [2], то возможен способ обеспечения питания потребителя электроэнергией при обрыве фазного проводника путём двухстороннего замыкания поврежденной фазы со стороны потребителя электрической энергии и со стороны источника с помощью однофазных заземляющих ножей. Исследование разрабатываемого способа происходит на лабораторном стенде в НИУ «МЭИ» и путем проведения натуральных экспериментов. В результате проведенных экспериментов обрабатываются данные об электрических параметрах:

- напряжения на потребителе (сторона 0,4 кВ);
- ток на стороне 6–10 кВ до места замыкания поврежденной фазе на землю;
- линейные напряжения на стороне высшего напряжения у трансформатора 6–10/0,4 кВ.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» 2016 г.
2. **Приказ Минэнерго РФ от 04.10.2022 N 1070** «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. N 757, от 12 июля 2018 г. N 548».

И.А. Бабенко, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗКИ ЛИФТОВ В МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

При проектировании городских электрических сетей специалистам необходимо знать расчетную нагрузку жилых домов. Расчетная нагрузка жилого дома вычисляется согласно утвержденной Инструкции [1] по следующей формуле:

$$P_{\text{р.ж.д}} = P_{\text{кв}} + k_y \cdot (P_{\text{ст.у}} + P_{\text{р.л}})$$

$P_{\text{кв}}$ — расчетная нагрузка квартир; $P_{\text{ст.у}}$ — расчетная нагрузка санитарно-технических устройств; $P_{\text{р.л}}$ — расчетная нагрузка лифтов; k_y — коэффициент участия силовых электроприемников в максимуме нагрузки, принимается равным 0,9.

Однако, прошло почти 30 лет с момента утверждения этой Инструкции, и данные, заложенные в ней, не актуализировались. За последнее время проведено немало исследований, направленных в том числе и на уточнение этих данных, но в исследованиях рассматривают нагрузку, либо отдельно квартир, либо всего здания в целом. Отдельно лифтовую нагрузку в этих работах не рассматривают.

Моя работа направлена на исследование нагрузки лифтов в жилом доме. В качестве исходных данных были сняты получасовые показания активной электроэнергии с приборов учета, установленных на вводах в вводно-распределительном устройстве здания. Один из них учитывает нагрузку квартир, и постоянную нагрузку общедомового освещения и интернет-оборудования, другой — только нагрузку лифтов. Снятие показаний происходило с 0 ч. 00 мин. 19 мая по 23 ч. 59 мин. 31 августа 2023 года.

После обработки данных были построены суточные графики лифтов и квартир по дням недели и график максимумов нагрузки лифтов. На основании полученных графиков был рассчитан коэффициент спроса лифтовых установок, а также коэффициент участия лифтов в максимуме нагрузки.

Литература

1. **РД 34.20.185-94.** Инструкция по проектированию городских электрических сетей : введ. с 01.01.95 г. — взамен Инструкции по проектированию городских и поселковых электрических сетей, ВСН 97-83.

*С.Г. Шерстнев, студ.; В.В. Черемисин, асп.;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ СОЗДАНИЯ БЫСТРОВОВОДИМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Создание сетей в сжатые сроки для передачи малой электрической мощности на большие расстояния может быть необходима в различных ситуациях, например, для электроснабжения временных объектов, развёртываемых подразделениями МЧС, сельскохозяйственных объектов или вахтовых посёлков на месторождениях природных ресурсов. В таких случаях быстровозводимая электрическая сеть (БЭС) может быть эффективным решением.

БЭС предназначена для резервирования мощностей при электроснабжении объектов различного назначения, электроснабжения в труднодоступных районах с возможностью передислокации подстанции с объекта на объект в условиях невозможности доставки топлива для генерации электрической энергии, взамен использования или совместного использования с дизельными генераторными установками.

БЭС состоит из модульной мобильной подстанции универсальной по напряжению 20/10/6/0,4 кВ, кабельной или воздушной линии и устройства подключения.

БЭС обладает высокой степенью гибкости и модульности, что позволяет легко расширять и модернизировать систему в будущем.

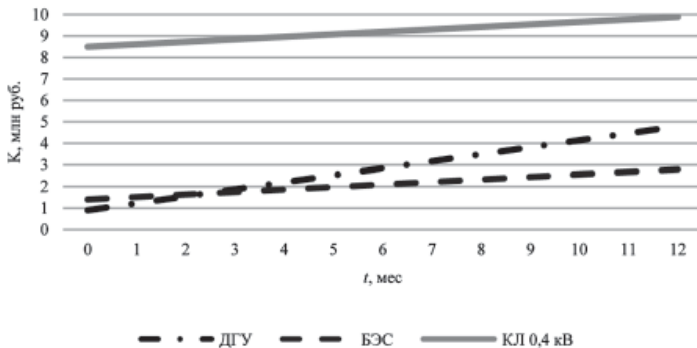


Рис. 1. Сравнение капитальных вложений в БЭС, ДГУ и КЛ 0,4 кВ

Литература

1. Мобильная модульная трансформаторная подстанция ММТП-25 10/0,4 кВ. Шифр: 10-2023-0-ЭС2. Рабочая документация. Электроснабжение. г. Москва, 2023.

*А.И. Хаертдинова, студ., В.В. Максимов, соиск.
(ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

ТЕХНОЛОГИЯ ДВОЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ

Метод для обеспечения стабильности электрического напряжения в энергетических системах с помощью двойного преобразования энергии онлайн источником бесперебойного питания (далее — ИБП) основан на параллельной работе двух преобразователей: онлайн ИБП содержит приёмный модуль, который преобразует переменный ток в постоянный и заряжает аккумуляторы в ИБП, инверторный модуль преобразует постоянный ток из аккумуляторов в переменный с постоянным напряжением [1].

Основное отличие между инверторным стабилизатором и онлайн ИБП:

1. Инверторный стабилизатор обеспечивает:
 - а) предотвращение пиковых нагрузок и потерь энергии;
 - б) управляемость: позволяет легко настраивать параметры энергии;
 - в) энергоэффективность и использование ресурсов;
 - г) интеграцию с возобновляемыми источниками энергии;
 - д) фильтрацию помех и повышение формы синусоидального напряжения [2].
2. Онлайн ИБП обеспечивает:
 - а) постоянное и стабильное напряжение для защиты чувствительного оборудования;
 - б) быструю компенсацию скачков напряжения, предотвращая повреждение устройств;
 - в) фильтрацию помех на линии питания для более стабильной и надежной работы устройств;
 - г) резервное питание при отключении основного источника, сохраняя работоспособность системы и данные;
 - д) управление и мониторинг через веб-интерфейс или специальное ПО [2];
 - е) высокую надежность и долгий срок службы.

Инверторные стабилизаторы — более доступны по цене, но ограничены в функциональности. Онлайн ИБП предлагают более надежное решение с аккумуляторами и широким диапазоном регулировки напряжения

Литература

1. **В.А. Головацкий, Г.Н. Гулькович, Ю.И. Конев** Источники вторичного электропитания / Под ред. Ю.И. Конева — М.: Радио и связь, 2000. — 420 с.
2. **Ю. Карпиленко, В. Климов, С. Климова, В. Смирнов** Прецизионный стабилизатор напряжения с двойным преобразованием энергии // Силовая электроника. — 2009. — № 23. — С. 69–71.

Я. Сунь, студ.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ФАКТИЧЕСКОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ

Выбор сечения ВЛ является важной частью проектирования электроэнергетической инфраструктуры.

График нагрузка потребителя зависит от температуры окружающей среды. Температура окружающей среды влияет и на пропускную способность системы передачи и распределения ЭЭ, в том числе на воздушные линии электропередач [1]. Данное взаимное влияние в условиях критических температур предлагается учитывать при выборе сечения ВЛ.

В работе [2] обоснованы три типа потребителей по зависимости электропотребления от температуры окружающей среды и даны предложения по выбору сечений ВЛ для них. Например, потребители с годовым графиком нагрузки, имеющим зимний максимум требуют учета увеличения нагрузки в условиях предельно низких температур при увеличении пропускной способности линии (рис. 1).

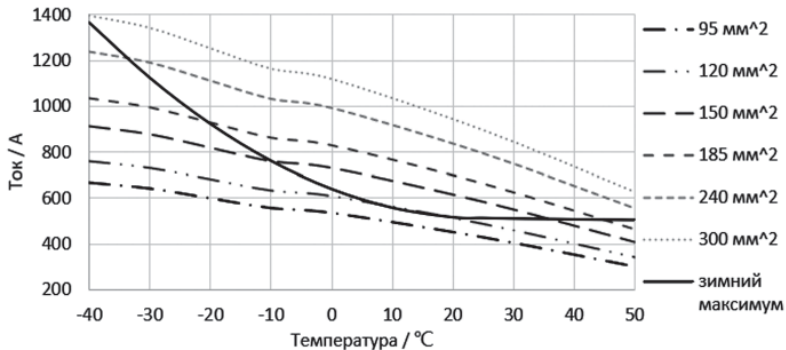


Рис. 1. Выбор сечения воздушных линии электропередач для потребителей с зимним максимумом нагрузки

Литература

1. **Конюхова Е.А.** Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. — М.: Издательство «Мастерство», 2002. — 320 с: ил.
2. **Сунь Ялун.** Выбор сечения воздушных линий электропередач с учетом температуры внешней среды и фактического графика нагрузки. Выпускная квалификационная работа бакалавра. — М., 2023. — 36 с.

А.Н. Сергеев, студ; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доцент (НИУ МЭИ)

ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Проблема качества электроэнергии сегодня становится все более острой. Ухудшение ситуации может быть связано не только с потребителем, но и с поставщиком. Контроль за соблюдением обязательных требований надежности и безопасности в сфере электроэнергетики осуществляет Ростехнадзор. Предметом надзора является соблюдение обязательных требований надежности и безопасности в сфере электроэнергетики субъектами электроэнергетики, что тесным образом связано с качеством электроэнергии.

Важно отметить, что при низком качестве электроэнергии помимо сокращения срока службы приборов, повышения расхода ресурса, увеличения оплаты его потребления, могут возникать ситуации, при которых на опасных производствах электроприемники выходят из строя, несмотря на то что перерывов в электропитании нет. Это создает потенциальную угрозу возникновения техногенных катастроф.

В связи с тем, что Ростехнадзор осуществляет контроль за деятельностью организаций, связанных с опасным производством, необходимо усилить контроль и за качеством электроэнергии. Это можно реализовать, если в режиме реального времени либо организации будут отчитываться о том, какую электроэнергию они получают, либо предприятия, которые поставляют электроэнергию [1].

Ростехнадзор реализует свои полномочия в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июня 2021 г. № 1085 «О федеральном государственном энергетическом надзоре» (далее — Постановление). Согласно положениям Постановления, контроль качества электроэнергии не относится к предмету федерального государственного энергетического надзора [2].

Вышесказанное позволяет сделать вывод о необходимости расширения задач Ростехнадзора и наделении их возможностью осуществлять контроль за качеством электроэнергии, поставляемой потребителям. Это будет способствовать предотвращению возникновения аварийных ситуаций, связанных с эксплуатацией объектов электроэнергетики и энергетических установок потребителей электрической энергии.

Литература

1. **Карташев И.И., Тульский В.Н.** Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 347 с.
2. **Коверникова Л.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Н.** Качество электроэнергии в ЕЭС России: Текущие проблемы и необходимые решения // *Электроэнергия: Передача и распределение.* — 2016. — № 2(35). — С. 28–38.

*С.П. Максимов, асп.; рук. П.А. Кузнецов, к.т.н., доц.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Саратов)*

ПЛАВКА ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВЛ-10(6) КВ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) напряжением 10(6) кВ подвержены нагрузке от гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на провода и элементы опор ВЛ. Стандартные способы плавки ГИО током короткого замыкания приводят к отключению потребителей на ВЛ с ГИО и потребителей всей секции шин районной подстанции (ПС). Актуальна разработка способа плавки ГИО на ВЛ без отключения потребителей.

Одновременное электроснабжение потребителей и проведение плавки гололеда возможно при создании в сети специального режима, при котором обеспечивается стандартный уровень напряжения для потребителей и ток в проводах ВЛ, достаточный для плавки ГИО, без изменения схемы сети [1]. Данный режим возможен при увеличении потока мощности в ВЛ:

$$S' = \sqrt{(P_n + \Delta P' \pm P')^2 + (Q_n + \Delta Q' \pm Q')^2} = \sqrt{3} \cdot U_{ПС} I_{W'} \quad (1)$$

где S' — поток мощности; P_n , Q_n — активная, реактивная нагрузка потребителей на ВЛ; $\Delta P'$, $\Delta Q'$ — потери активной, реактивной мощности в линии при плавке; P' , Q' — дополнительная активная, реактивная мощность для создания специального режима; $U_{ПС}$ — напряжение ПС; $I_{W'}$ — ток плавки.

Знаки при P' и Q' показывают направление дополнительного потока мощности в линии, обусловленного дополнительными активными и реактивными нагрузками или источниками мощности. Специальные режимы отклоняют напряжение потребителей и шин ПС, изменяют загрузку трансформатора ПС. Так, например, источник реактивной мощности Q' 8,15 Мвар, установленный в конце ВЛ-10 кВ длиной 13 км, выполненной проводом АС-70/11 и подключенной к трансформатору ПС марки ТДН-10000/110, дает ток плавки $I_{W'}$ величиной 332 А. При этом напряжение потребителя U_n повышается до 12,3 кВ, напряжение на шинах ПС $U_{ПС}$ — до 11,1 кВ, загрузка трансформатора составляет 83,5%.

Для оптимизации режима плавки авторами предлагается снизить уровень напряжения следующими методами: 1) снижение комплексного сопротивления ВЛ, путем компенсации ее реактанса; 2) дополнительная загрузка ВЛ встречным потоком мощности. Разрабатываются способы применения данных методов для регулирования напряжения потребителей.

Литература

1. **Максимов С.П., Кузнецов П.А.** Анализ существующих методов плавки гололедно-изморозевых отложений на проводах ВЛ-10(6) кВ // Вопросы электротехнологии. 2023. № 1 (38). С. 47–56.

*Д.Т. Косенко, Е.А. Ионенко, И.С. Польшалин, студенты;
С.В. Пожидаев, асп.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ ЛИКВИДАЦИИ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ ДУГИ И ВЫНОСА ОПАСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ (ОЗЗ) В СЕТЯХ 6-10 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Протяженность воздушных линий 6-10 кВ по данным [1] составляла 962 933,5 км, что составляет 46,5% от длин воздушных линий 0,38–110 кВ. Так как протяженность воздушных линий составляет большую часть от воздушных линий России и аварии в этих сетях составляют около 70% от всех отключений, то возможность перевода ОЗЗ, которые в свою очередь являются самыми распространенными повреждениями и составляют около 70% от других повреждений в сетях 6–10 кВ, в режим двухстороннего однофазного замыкания на землю путем шунтирования, заключающемся в установке на шинах центра питания пофазно-управляемых заземляющих ножей, позволяющих создавать искусственное замыкание на землю на поврежденной фазе, позволит ликвидировать перемежающиеся дуговые замыкания и обеспечить безопасность потребителей и рабочего персонала в рассматриваемых сетях [2]. Исследование разрабатываемого способа происходит на лабораторном стенде в НИУ «МЭИ» и путем проведения натуральных экспериментов. В результате проведенных экспериментов обрабатываются данные об электрических параметрах:

- напряжения на потребителе (сторона 0,4 кВ);
- потенциал в месте дугового замыкания на землю;
- ток в месте ОЗЗ (на лабораторном стенде);
- линейные напряжения на стороне высшего напряжения у трансформатора 6–10/0,4 кВ.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» 2016 г.
2. Гусев Ю.П., Косарев С.А., Смотров Н.Н., Чо Г.Н. Анализ способа замыканий на землю в сетях среднего напряжения путем шунтирования фаз // Энергобезопасность и охрана труда. — 2020, январь — февраль. — № 1 (91). — С. 5–8.

*Е.С. Кривенко, студ.; рук. М.Л. Артемьева, ст. преп.
(Чукотский филиал СВФУ, Анадырь)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НА КОРОНУ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Известно, что 40% потерь на линиях электропередачи приходится на коронный разряд от потерь на нагрев проводов. Данные потери в основном рассчитаны на благоприятное климатическое условие для европейской части России. Энергосистема Чукотки находится в изолированной системе поэтому данное исследование проводилось для того, чтобы сделать анализ и оценку влияния погодных условий Арктики, в частности для Чукотки, на потери коронирования на ЛЭП 110 кВ.

Коронный разряд возникает в следствии ионизации электродов, имеет свою начальную амплитуду U_{max} , при котором он наступает. На эту характеристику влияют погодные условия [1]. Погодные условия Арктики значительно отличаются от европейской части России. Поэтому в качестве исходных данных были взяты местные погодные условия, а именно количество осадков за 2022 год в г. Анадырь. Для оценочного подсчета среднегодовых потерь все погодные условия разбивают на 4 группы: 1) хорошая погода; 2) дождь (включая мокрый снег и морось); 3) сухой снег; 4) изморозь (включая гололед и иней) [1].

Таблица 1. Показатели напряжения возникновения короны и потерь на корону

Группа погоды	Uк, кВ	Pк, кВт/км*фаза
Хорошая погода	97,791	0,111
Дождь (мокрый снег, морось)	92,039	0,24
Сухой снег	79,959	0,67
Изморозь	69,029	1,246
ΣP , кВт	418,125	
$P_{ср}$, кВт/дн	1,146	

По результатам анализа предлагаются следующие мероприятия по уменьшению потерь на корону: увеличение расстояния между проводами; применение материалов с пониженной проводимостью не только на изоляторах, а также в качестве изоляции на проводах; замена проводов на провода с изоляцией; регулярное обслуживание и проверка фазных проводов на наличие повреждений или изоляционных дефектов.

Литература

1. **Важов В.Ф. Лаврионович В.А.** Техника высоких напряжений: курс лекций. — Томск: Изд-во ТПУ, — 2008. — 150 с.

*Д.В. Федотов, студ.; В.В. Черемисин, асп.;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ДЛЯ БЫСТРОВОВОДИМОЙ СЕТИ

Быстровозводимые сети электроснабжения (БВЭС) предназначены для электроснабжения потребителей при условиях ограниченного времени для строительства сетей, например, в условиях чрезвычайных ситуаций, электроснабжении временных объектов. Для использования в составе БВЭС обществом с ограниченной ответственностью «Кабельный Завод «ЭКСПЕРТ-КАБЕЛЬ» совместно с кафедрой ЭЭС НИУ «МЭИ» были разработаны одножильный кабель марки EXPERT class МИП 1×2,5 — 10 и трехжильный кабель марки EXPERT class МИП 3×3х2,5 — 10 на номинальное напряжение 10 кВ.

Токопроводящие жилы кабелей выполнены одножильной медной проволокой сечением 2,5 мм² диаметром 1,79 мм. Изоляция жил кабелей выполнена из сшитого полиэтилена толщиной 2 мм. Внешний диаметр кабеля составляет 5,8–5,85 мм, погонный вес кабеля составляет 48 кг/км. Изолированные жилы кабеля EXPERT class МИП 3×2,5 скручены общей скруткой с полипропиленовым шпагатом диаметром 1,2 мм, размещенным по центру скрутки. Толщина оболочки кабеля составляет 1,2 мм.

В ходе лабораторных испытаний повышенным напряжением согласно п. 1.8.40 [1] была подтверждена стойкость кабеля к приложению испытательного четырехкратного номинального напряжения.

Установка для полевых испытаний состоит из повышающей подстанции 10/0,4 кВ, испытываемой линии и понижающей подстанции, к которой подключена нагрузка. Были проведены опыты по использованию быстроустанавливаемой соединительной муфты, исследование режимов однофазного замыкания, обрыва одного фазного проводника, режим однопроводной передачи, межфазного короткого замыкания. При выполнении опытов по межфазным коротким замыканиям фиксировалось срабатывание защитного предохранителя одной из фаз. Использование предохранителей допускается п 3.2.3. [1] и позволяет не проводить проверку кабеля на стойкость к токам КЗ согласно [2].

В результате полевых испытаний, проводившихся в течении 2 месяцев, данный кабель практически показал способность функционирования в реальных условиях.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Москва. Издательство НЦ ЭНАС
2. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д. Л. Файбисовича. — М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2005.

А.В. Дурова, студ.; рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–20/0,4 КВ

Для обеспечения стабильного и надежного электроснабжения потребителей необходимо поддерживать напряжение в распределительных сетях в допустимых пределах. Наиболее значимым показателем качества электроэнергии считается отклонение напряжения в точке передачи электрической энергии. В настоящей работе рассматривается вопрос эффективности применения устройств регулирования напряжения.

На сегодняшний день имеющиеся методы регулирования, такие как регулирование под нагрузкой (РПН) в центрах питания и сезонное регулирование с переключением без возбуждения (ПБВ) не позволяют в должной мере достичь необходимого результата по снижению отклонения напряжения для поддержания значений согласно нормативам [1, 2]. Была рассмотрена возможность повышения качества электроэнергии, путем использования инновационных устройств регулирования напряжения в распределительных сетях 6–20/0,4 кВ.

Для выполнения этой задачи была построена модель полупроводникового устройства регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ), которая позволяет пофазно производить регулировку напряжения путем подключения к отпайкам ПБВ трансформатора 6–20/0,4 кВ. С помощью данной модели была произведена оценка эффективности применения ПУРНТ.

В качестве дополнения продемонстрирована экономическая оценка эффективности применения различных устройств регулирования напряжения в распределительных сетях.

В результате проведенной работы получено, что ПУРНТ является наиболее технически и экономически эффективным способом нормализации показателей напряжения.

Литература

1. **Гуков П.О.** Способы регулирования напряжения в распределительной электрической сети // Актуальные проблемы энергетики АПК, материалы VIII международной научно-практической конференции. 2017.
2. **Тульский В.Н., Радиков Т.В., Королев В.М.** /Оценка качества электроэнергии в распределительных электрических сетях // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019.

Д.М. Габдушев, студ.;
конс. И.С. Михайлов, к.т.н., доцент;
рук. А.С. Ванин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ АВАРИЙНОГО ЖУРНАЛА ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

На текущий момент применение методов машинного обучения в задачах управления производственными активами электросетевых компаний не так распространено, как в других сферах и отраслях экономики. При этом у электросетевых компаний в виду их протяженности, большого разнообразия в части охватываемых территорий и количества потребителей генерируется и собирается большой объем данных о надежности оборудования [1–2].

Учитывая увеличение ресурса электросетевого хозяйства, задачи своевременного обнаружения неисправностей и проведения корректного планирования технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) являются все более актуальными.

В докладе рассматриваются классические модели машинного обучения. Рассматриваются регрессионные и классификационные модели для анализа отказов оборудования распределительной сети, наивный байесовский классификатор при анализе надежности оборудования и остаточного ресурса с учетом индексов технического состояния, а также модели кластеризации. Проводится сравнение точности выбранных алгоритмов и выбор подходящих моделей для анализа отказов оборудования распределительной сети.

В качестве исходных данных используется информация о парке оборудования, аварийный журнал отказов, данные о ТОиР.

В докладе также освещается комбинированный подход составления модели надежности электросетевого оборудования. Модели машинного обучения могут быть рассмотрены как часть более общего набора инструментов статистического анализа. Их результаты могут быть использованы для построения статистических моделей надежности оборудования. Например, данные об отказах могут быть предварительно обработаны и преобразованы с использованием моделей машинного обучения для выявления важных признаков, которые затем могут быть включены в статистическую модель.

Литература

1. **Габдушев Д.М., Ванин А.С.** Статистическое исследование отказов в распределительной сети 10 кВ Московского региона // Вестник МЭИ. 2023. № 3. С. 29–39. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-3-29-39.
2. **Gabdushev D., Vanin A.** Reliability analysis of power distribution network in urban area // 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2023. — Т. 5. — С. 1–6.

*И.В. Лукошин, студ.; М.А. Подгузова, асп.;
рук. Д.А. Шевцов, д.т.н., проф. (МАИ, Москва)*

ДРАЙВЕРЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ С ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ ДЛЯ РАБОТЫ С ФАЗОВОЙ ШИМ

Неотъемлемой частью любого импульсного устройства преобразования или регулирования электроэнергии является силовой преобразовательный каскад, алгоритм управления которым задается несильным маломощным устройством управления. Для улучшения удельных массо-энергетических показателей преобразователей электроэнергии входящие в их состав регулирующие элементы должны работать в ключевом режиме с достаточно высокой частотой переключения, с относительно малыми динамическими потерями [1]. В связи с этим, драйвера, управляющие транзисторными силовыми каскадами (СТК), должны гарантировать надежность отпирания и запираания СТК, а также обеспечивать быстрое переключение СТК [2].

Основными проблемами проектирования драйвера любого типа с любым видом гальванической развязки является наличие неизбежных паразитных параметров и эффекта du/dt , оказывающих существенное негативное влияние на процессы переключения как самого драйвера, так и СТК [3]. В работе предлагаются несколько авторских схем драйверов, имеющих свои достоинства и недостатки, а как следствие и область целесообразного применения. Работоспособность предложенных авторских схемотехнических решений подтверждена с использованием имитационного компьютерного моделирования в среде OrCAD PSpice. Так, одна из предложенных схем гарантирует устойчивость драйвера к du/dt не менее 50 кВ/мкс, что соответствует аналогичным параметрам драйверов, выпускаемых зарубежными фирмами.

Литература

1. Подгузова М.А., Мананникова Н.Г., Лукошин И.В., Пенкин В.Т., Шевцов Д.А., Шишов И.М. Классификация и проблемы проектирования драйверов силовых транзисторных ключей // Практическая силовая электроника. 2023. № 1 (89). С. 21–25.
2. Volovich G. Drivers for power switches// Modem Electronics. 2007, No 8m, pp. 32–40.
3. Подгузова М.А., Шевцов Д.А., Шишов И.М., Подгузов В.А., Машуков Е.В. Влияние паразитных параметров трансформатора гальванической развязки на процессы переключения драйверов силовых транзисторных ключей // Практическая силовая электроника. 2023. № 2 (90). С. 41–45.

*М.А. Подгузова, асп., И.В. Лукошин, студ.;
рук. К.Л. Ковалев, д.т.н., с.н.с. (МАИ, Москва)*

СПОСОБЫ ПОДАВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ НА ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ДРАЙВЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ СИЛОВЫМИ ТРАНЗИСТОРНЫМИ КЛЮЧАМИ

Драйверы являются неотъемлемой составной частью различных силовых электронных устройств регулирования, преобразования и распределения электроэнергии и представляют собой устройства сопряжения между выходом маломощного устройства управления и входом СТК. Разработка и исследование принципов построения драйверов различных типов является актуальной задачей.

Драйверы могут использовать различные виды гальванической развязки. Преимуществами трансформаторной гальванической развязки (ТГР) являются: высокая надежность, широкий температурный диапазон, высокий потенциальный уровень гальванической развязки, возможность передачи сигнала управления через ТГР различными способами. Не смотря на указанные достоинства ТГР ей присущи и недостатки такие как, наличие неизбежных паразитных параметров в виде индуктивности рассеяния обмоток и межобмоточной емкости. В связи с этим, в схему драйвера необходимо включать специальные функциональные узлы, парирующие негативного влияния неизбежных паразитных параметров и эффекта du/dt .

В ходе работы были: получены аналитические соотношения для количественной оценки неизбежных паразитных параметров ТГР; предложены схемотехнические решения для подавления негативного влияния эффекта du/dt и паразитных параметров ТГР на работоспособность драйвера; с помощью ИКМ исследована работоспособность предложенных технических решений.

Литература

1. **Подгузова М.А., Шевцов Д.А., Шишов И.М., Подгузов В.А., Машуков Е.В.** Влияние паразитных параметров трансформатора гальванической развязки на процессы переключения драйверов силовых транзисторных ключей // Практическая силовая электроника. 2023. № 2 (90).
2. **М.А. Подгузова,** Алгоритм проектирования и методика расчета трансформатора гальванической развязки для драйверов с различными способами передачи сигнала управления Практическая силовая электроника. 2023. № 3 (91).

*А.Ш. Сафонов, студ.;
рук., Р.У. Галеева, ст. препод. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

АНАЛИЗ ТОКОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ТРЕХФАЗНОМ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ НА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ 10 КВ

Одним из вариантов защиты при симметричном коротком замыкании на среднем напряжении является токоограничение. Оно предполагает использование быстродействующих выключателей, которые срабатывают до появления ожидаемого ударного тока КЗ. При этом ток КЗ и общее количество выделившейся тепловой энергии [1] в линии ограничивается. Это позволяет использовать нижестоящие выключатели с меньшей отключающей способностью и термической стойкостью, чем была фактически рассчитана. Из-за чего существенно снижается стоимость оборудования и сложность монтажа. Подобное соединение выключателей образует каскад, в котором вышестоящий быстродействующий выключатель снижает токи КЗ для нижестоящих коммутационных аппаратов.

Для проверки эффективности токоограничения в программном комплексе MATLAB/Simulink была построена тестовая модель электроэнергетической системы [2]. Для построения системы использовались модели трансформатора 110/10 кВ и кабельной линии ААШв-3х240.

Для создания искусственного короткого замыкания был применен блок Three-Phase Fault. Высоковольтный выключатель задавался блоком Three-Phase Breaker с заранее выбранной логикой.

По результатам моделирования оказалось, что быстродействующий выключатель снижает фактический ток КЗ на 16% по сравнению с ожидаемым. Полученные данные могут быть применены при исследовании симметричных переходных процессов в кабельных линиях, а также в дальнейшем для выбора коммутационной аппаратуры при токоограничениях.

Литература

1. **ГОСТ Р 50571.4.43-2012.** Национальный стандарт РФ. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.
2. **Черных И.В.** «Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink» — М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008, 288 с.

Секция 56

ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

History of energy

*Председатель и секретарь секции:
к. т. н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

*Р.Р. Хисамов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МАКЕТ «ПАРОВАЯ ТУРБИНА СВК-150 - 1 И ГЕНЕРАТОР ТВ2-150-2» ДЕЙСТВУЮЩИЙ. М 1: 10

Сегодня невозможно представить жизнь без электроэнергии. Основной объем производства электрической энергии приходится на тепловые электростанции, где энергия пара вращает турбины, приводящие в действие генераторы. Однако генерация больших мощностей ставила в тупик инженеров со всего мира до 1952 года, когда Советские ученые и инженеры разработали новую турбину на сверхвысоких параметрах пара.

Турбина генератора СВК -150 приводила во вращение ротор генератора ТВ2-150-2. Комбинация этих двух агрегатов выдавала 150 000 кВт активной мощности.

В турбине впервые стали использовать марку стали Р-2, обладающую высоким уровнем жаропрочности. Для того, чтобы конструктора научились с ней обращаться, УРАЛМАШ-завод подготовил 8-и тонный слиток.

В роторе генератора ТВ2-150-2 впервые стали использовать водородное охлаждение. Однако со временем пришли к выводу, что данный тип охлаждения опасен и может приводить к взрыву генератора. Разработали новый тип охлаждения — водяной.

Турбогенератор имел вес в 350 тон, из которых ротор весил 210. Для того, чтобы его доставить до точки эксплуатации, был сконструирован специальный транспортер.

Первую турбину установили в 1952 году на Черепетской ГРЭС. Далее установили еще 2 такие же турбины. Проработали они до 2015 года и были сняты с эксплуатации, проработав 63 года.

Успех Советских инженеров и ученых запечатлели в действующем макете 1 к 10. Всего было произведено 10 макетов, один из которых выставлялся сначала на Всесоюзной промышленной выставке, а после был перед Политехническим музеем.

Литература

1. **С.М. Лосев** Паровые турбины и конденсаторные устройства; Москва: издательство «Энергия», 1964 год.
2. **М.И. Боженкова** Ленинградский металлический завод, 1997 год.

Е.Д. Щиголь, Т.М. Володина, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

НОВЕЙШАЯ ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ — БИОГАЗ (БИОГАЗОВАЯ СТАНЦИЯ «ЛУЧКИ»)

В России ежегодно накапливается до 300 млн тонн органических отходов. Ещё в середине XX века люди задумались об их переработке и получении из них электроэнергии — так появилась биоэнергетика.

Биогазовая энергетика — это один из наиболее перспективных видов энергетики в нашей стране. Это можно объяснить крайней доступностью сырья (продукты жизнедеятельности животных, растительность и органические отходы), а также безотходностью производства [1].

Ключевым продуктом в биоэнергетике является биогаз (смесь CH_4 и CO_2 с примесью H_2S). Именно он сгорает в поршневых двигателях, превращаясь в электроэнергию (а также машинное масло и тепло). Его получают из биомассы (смеси отходов жизнедеятельности животных с растительностью и органическими отходами) путём поедания её анаэробными бактериями при $t=35\text{--}37^\circ\text{C}$, в процессе чего выделяется биогаз. Примечательно, что сегодня существует около 60 видов технологий получения биогаза.

Переброжённую биомассу либо используют в качестве удобрения с/х угодий, либо перерабатывают особой мембранной технологией Landco. Она была разработана в Люксембурге для очистки сточных вод и переброжённого субстрата. Её ключевым компонентом является двухбарьерная полимерная мембрана с диаметром пор 8 нм. В процессе очистки сточные воды полностью освобождаются от органических примесей, а из переброжённого субстрата выделяются компост, минеральные удобрения и чистая вода.

Крупнейшая и первая в России биогазовая станция находится в Белгородской области и называется «Лучки». Она была введена в эксплуатацию 25.06.2012 г., а в 2015 вышла на мощность 3,6 МВт. За сутки станция обеспечивает 45 тысяч жителей светом и теплом. В России на данный момент работают больше 20 биогазовых станций, при этом в ближайшее время планируется построить ещё пять: в Калужской, Владимирской, Белгородской областях, а также в Подмосковье и Казахстане [2].

Литература

1. **А.М. Эфендиев** «Биогаз. Технология и оборудование», 2013 г.
2. **А.Р. Цыганов, А.В. Ключков** «Биоэнергетика. Энергетические возможности биомассы», 2014 г.

*Е.Д. Щиголь, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ ДИОД БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ТИПА В4-25

Первые отечественные силовые полупроводниковые вентили были разработаны в 1955 году в физико-техническом институте (ФТИ) имени А.Ф. Иоффе, лаборатории профессора В.М. Тучкевича на основе германия с применением сплавной технологии.

В 1960 году ученые института имени А.Ф. Иоффе разработали диффузионную технологию создания р-п переходов в монокристаллическом кремнии. На ее основе впервые в СССР и практически одновременно с ведущими мировыми державами, США, Германией и Японией, на саранском заводе «Электровыпрямитель», флагмане советской промышленности того периода времени, были разработаны и освоены в серийном производстве силовые полупроводниковые приборы с диаметром кремниевых структур 25 мм. Первыми вентилями, изготовленными методом диффузионной технологии, были вентили ВКД-200 [1].

Вентили В4-25 были разработаны в начале 1970-х годов на «Электровыпрямителе» на основе выпрямительного диода предыдущего поколения ВКДЧ-25 и характеризовались следующими отличиями:

- имели металлокерамический корпус;
- конструкция предназначалась для монтажа в ротор электрогенератора;
- использовался прижимной контакт вместо паяного, что во много раз позволило улучшить термоцикlostойкость вентиляей;
- обладали низкими динамическими потерями (времена обратного восстановления), что обеспечивало их надежную эксплуатацию на повышенных частотах.

Серийное производство диодов В4-25 было освоено на белорусском заводе «Электромодуль» в городе Молодечно примерно с 70-х гг. XX века.

Вентили такого типа до сих пор используются в электрогенераторах для бортовых систем электроснабжения самолетов и вертолетов (в частности, военных) [2].

Литература

1. **А.К. Хрулев, В.П. Черепанов** Диоды и их зарубежные аналоги: Справочник. В 3 т. Том 1. — М.: ИП РадиоСофт, 1999.
2. **Н.Х. Ситник** Силовая полупроводниковая техника. М., Энергия, 1968.

*Т.В. Криворотько, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ТРАНСФОРМАТОР ТРЕХФАЗНЫЙ Понижающий СИСТЕМЫ ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКОГО

С момента создания трёхфазного трансформатора прошло более 130 лет, в течении этого времени трансформаторы существенно видоизменились. Изменения можно отследить, если обратиться к трёхфазному трансформатору из коллекции Политехнического музея. Экспонат был произведён немецкой компанией Siemens-Schuckertwerke. Создатель трансформатора выдающийся русский инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский.

Прототип этого трёхфазного трансформатора впервые был изготовлен для первой в мире высоковольтной линии электропередачи трёхфазного тока [1].

Передача была осуществлена на Первой электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне в 1891 году под руководством Доливо-Добровольского [3].

Электрическая энергия передавалась от Лауфенской электростанции. Генератор давал ток напряжением в 55 В. Это напряжение повышалось до 8500 В. Во Франкфурте другой трансформатор понижал напряжение до 65 В. Использовались два трансформатора с масляным охлаждением — один трансформатор на 150 кВА от Maschinenfabrik Oerlikon и второй на 100 кВА от AEG. Протяжённость линии электропередачи составляла 175 км [3].

Стержни трансформатора были выполнены из отдельных, изолированных друг от друга листов железа. Оба конца этих стержней соединялись ярами, намотанными из полос железа с бумажными прокладками между витками. На стержнях располагались обмотки высокого (15 000В) и низкого (50 В) напряжения [2].

Представителям многих стран мира были блестяще продемонстрированы преимущества трёхфазного тока. Отныне ему была открыта широкая дорога в промышленное производство [2].

Литература

1. Первый трехфазный трансформатор М.О. Доливо-Добровольского / под ред. В.В. Шипицына. М.: Знание, 1975.
2. **О.Н. Веселовский.** Доливо-Добровольский. М.: Акад. наук СССР, 1963.
3. 1889 г. создание трехфазного трансформатора. URL: <https://plastep.ru/1889-g-sozdanie-trehfaznogo-transformatora/?ysclid=lhff8ksjn375532058> Источник: «Региональное хранилище единой коллекции цифровых образовательных ресурсов».

Т.В. Кетова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИЖЕВСКАЯ ТЭЦ-2

Объявленный правительством СССР закрытым для въезда иностранцев город Ижевск долгое время развивал военную промышленность — такую важную для правительства того времени отрасль, именно она и стала ключевой отраслью экономики города и дала толчок к развитию. В 1967 году возник вопрос о строительстве ТЭЦ-2 — по сей день крупнейшей электростанции в Удмуртской Республике [1].

Строительство началось в 1972 году. Первым руководителем предприятия был Романенко Н.И. В сжатые сроки был построен нулевой цикл главного корпуса, все самые сложные фундаменты под оборудование, перемещены десятки кубометров земли.

Во время строительства особое внимание уделялось вводу первого водогрейного котла, чтобы дать городу тепло, так как в то время в Ижевске был большой дефицит тепловой энергии. В 1975 году был смонтирован второй водогрейный котел, государственной комиссией был принят в эксплуатацию первый пусковой комплекс. Ижевская ТЭЦ-2 перешла из строящейся в разряд действующей.

Самым тяжелым оказался ввод первого энергетического блока, то есть первого энергокотла производительностью 420 т/час и первого турбогенератора мощностью 60 МВт. В то же время усилия строителей были направлены на обеспечение и возведение основных сооружений электростанции. Смонтированы два 50-тонных и два 30-тонных козловых крана, подведены временные железнодорожные пути к главному корпусу. В начале января 1977 года первый энергоблок был пущен в постоянную эксплуатацию [2].

Сейчас в городе Ижевске проживает порядка 620 тыс. человек и работают крупные предприятия. До сих пор в удмуртской области нет энергообъекта крупнее ТЭЦ-2, она питает большую часть города и на данный момент имеет установленную электрическую мощность 390 МВт, установленную тепловую мощность — 1474 Гкал/час.

Литература

1. **ОАО «Удмуртэнерго»** «Тепло и свет Удмуртии. Хроника строительства и развития Ижевской ТЭЦ-2.» 2000 г.
2. <http://udmurt-history.ru/naselennie-punkti-udmurtii/kratkaya-istoriya-izhevsk.html/> «Краткая история Ижевска»

В.Д. Семенова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ЗАВОД «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ТРАНСФОРМАТОР». ПЕРВОЕ В РОССИИ СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В 1956 году Совет министров СССР распорядился о строительстве Ставропольского завода ртутных выпрямителей. Этому решению способствовало два проекта: сооружение линии Волгоград — Донбасс, тогда самой мощной и протяженной ЛЭП постоянного тока в мире, и электрификация железных дорог.

Линий постоянного тока не было нигде, кроме Швеции, там же и создали первые мощные ртутные выпрямители. Технология изготовления стали, из которой делался анод, держалась шведами в строгом секрете. Именно эта проблема первое время тормозила производство ртутных выпрямителей в СССР — пришлось разрабатывать технологию самим. Через год Ставропольский завод ртутных выпрямителей был готов к серийному выпуску продукции. [1]

В 1959 году вышло постановление Правительства о строительстве на Ставропольском заводе ртутных выпрямителей корпуса силовых трансформаторов. Завод получил новое направление развития и перспективы.

В 1964 году на заводе собрали первый силовой трансформатор. В 1978 году началось производство автотрансформаторов напряжением 500 кВ — был изготовлен первый автотрансформатор ОРЦ 135000/500 для Волжской ГЭС. С 1981 года трансформаторы класса 500 кВ из перспективных перешли в разряд базового выпускаемого оборудования.

В настоящее время предприятие представляет единый производственный комплекс по производству трансформаторов общепромышленного и специального исполнения: сейсмостойкие, форсированные, высокогорные, для различных климатических условий, классом напряжения 6, 10, 35, 110, 220, 330, 500 кВ и линейкой мощностей 100–630 000 кВА.

Продукция Тольяттинского трансформатора уже четыре десятилетия безукоризненно работает на электростанциях, железных дорогах, металлургических, автомобильных и химических заводах России, ближнего и дальнего зарубежья. Проверены временем и пространством — именно так можно сказать о тольяттинских трансформаторах.

Литература

1. С.Г. Мельник. Витки «трансформатора». Изд-во «Инфо-Пресс», 2006.

П.А. Балаев, Т.В. Петракова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ГОРОДА ЛЫТКАРИНО

Лыткарино — город, расположившийся на левом берегу реки Москвы, один из множества городов Подмосковья. Чем же он прославился на сотни лет? Как благодаря электрификации города его жители смогли внести весомый вклад в победу во Второй мировой войне и в Советскую науку?

Лыткарино впервые упоминается в дарственной грамоте инокини Марфы, датированной 1429–1466 гг. Но еще в XIV в. из белого камня, добываемого в окрестностях села, по велению князя Дмитрия Донского доставлялся камень в столицу для строительства стен Кремля.

Игнорировать залежи известняка и песчаника было бы расточительно, поэтому по завершении программы «А» плана ГОЭЛРО в 1926 году, предусматривавшей восстановление разрушенного энергетического хозяйства страны, власти обратили внимание на Лыткарино. Для камнедобычи было необходимо снабдить деревню электричеством. Об этой работе был снят документальный фильм «Праздник электрификации в Лыткарино», демонстрировавшийся на киноэкранах страны с 1928 года [1].

В отчёте товарищества «Электропржектор» значится: «Оборудована высоковольтная линия Н.Угрешы-Лыткарино, 6 километров. Установлено трансформаторных пунктов 3 штуки. Проведено внутреннее оборудование 350 домов и 1000 световых точек для Жулебино, Лыткарино, Капотни, Чагино». В Лыткарине было электрифицировано 95 домов, из них 7 — бедняцких. Установлено 224 световых точки и 8 уличных фонарей. Первую работу по электрификации закончили уже к июню 1928 года [2].

Так как лыткаринский песок оказался подходящего качества, в 1933 году началось строительство завода зеркальных отражателей для прожекторных установок. Производство заменило германскую фирму «Карл Цейс» и, начиная с 1942 года, наладило производство бронестекла для авиации [3].

В дальнейшем в городе были также произведены зеркала для самых известных телескопов в мире: Большого телескопа азимутального, китайского LAMOST, второго по размеру в Азии тайского телескопа TNT и многих других международных проектов.

Литература

1. Лыткарино в зеркале истории. [В 2-х т.]. Т. 2. Деревня. Рабочий поселок. Город. Век XX / Пахомова Л.М. [и др.]; Благотворит. общ. орг. «Историческое наследие Лыткарино». — М.: Истоки, 2014. — 680 с., ил.;
2. Энциклопедия Лыткарина. Электрификация // Новый Век. Газ. — Лыткарино. — № 33 (54) 28 дек. 2005;
3. Как все начиналось // Лыткаринские вести. Газ. — Лыткарино. — № 37 (712) 14 сен. 2007.

*Т.В. Криворотько, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПЕРВАЯ В МИРЕ ЭНЕРГОСИСТЕМА

Создание первой в России и в мире энергосистемы осуществлялось в два этапа. Первоначально в 1903 году была построена Центральная Пятигорская гидроэлектростанция на реке Подкумок и четыре воздушных линии электропередачи 8 кВ к Пятигорску, Кисловодску, Ессентукам и Железноводску. По мере развития городов и роста электрических нагрузок в 1913 году в Пятигорске вошла в строй дизельная электростанция. Под руководством профессора М.А. Шателена она была включена в параллельную работу с Центральной Пятигорской ГЭС «Белый Уголь» через линию 8 кВ протяжённостью 20 км. Таким образом образовалась первая энергосистема [1].

Запуск на параллельную работу был осуществлён 26 марта 1913 года.

В своей записной книжке Шателен писал:

«...В начале были сильные уравнительные токи и даже выбрасывало автомат, но потом работа установилась, причём от Белого Угля брали около 50 кв, а от дизеля 180-250 кв. Работали параллельно около часа. Нагрузку составляли водяной реостат и трамвайный умформер» [1].

Принципы работы первого в России объединения разнотипных электростанций легли в основу всех будущих энергосистем.

Например, при обсуждении строительства Волховской ГЭС в 1918 году возникла жаркая дискуссия, в ходе которой оспаривалась возможность совместной работы паровых и гидравлических станций. Тогда профессор Шателен напомнил об известном, пусть и малом опыте такого сочетания: гидроэлектростанции «Белый Уголь» на Подкумке, работающей совместно с дизельной электростанцией в Пятигорске» [2].

В 1996 году, благодаря многолетней работе Александрова Ю.А., основателя музея «Первые шаги электроэнергетики», было раз и навсегда документально установлено мировое первенство нашей энергосистемы [1].

Энергосистемы, созданные впоследствии за рубежом, были основаны в первую очередь на параллельной работе генераторов, вращающихся от паровых и гидравлических турбин [1].

Литература

1. **Ю.А. Александров.** Первые шаги отечественной электроэнергетики. Краеведческое общество на КМВ, г. Пятигорск, 1997.
2. **Ю.А. Александров.** Первые шаги отечественной электроэнергетики. Краеведческое общество на КМВ, г. Пятигорск, 1983.

*Д.С. Зайченко, И.И. Евсеенко, студенты;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОСТ ПОСТОЯННОГО ТОКА «МТ-6» (МОСТ ТОМСОНА)

Прибор предназначен для измерения очень малых омических сопротивлений (от 10^{-5} до 11 Ом). Эти пределы изменяются с помощью встроенного в мост реохорда, а измерения проводятся с использованием сравнительных сопротивлений.

Мост МТ-6 смонтирован на дюралюминиевой панели и заключён в деревянный ящик со съёмной крышкой. На внутренней стороне крышки прикреплена инструкция по эксплуатации. Сам ящик снабжён ручкой для переноски. Сравнительные сопротивления моста изготовлены из манганина, а реохорд из константановой проволоки в виде двояной спирали.

Вес — 5 кг. Габаритные размеры — 175×240×360 мм.

В 1944 году на партийной конференции в Киеве было продемонстрировано первое устройство для измерения на постоянном токе — Мост постоянного тока типа МТ-5, но так как такой мост в условиях военного времени было изготовить очень трудно, он обладал одним недостатком, который значительно затруднял измерения необходимого параметра. Недостатком является отсутствие встроенного гальванометра, который был восполнен в следующей модели, а именно МТ-6, созданным в 1949 году.

Мост МТ-6 был изготовлен на Киевском заводе «Точэлектроприбор», который с 1930 года создаёт надёжные приборы для самых разных целей, позволяющие проводить измерение необходимых параметров с высокой точностью. По прошествии десятилетий завод стал ведущим предприятием отрасли, а также «эталоном» внедрения новых технологий.

Литература

1. **О.П. Гусев.** Девиз — точность. Изд-во «Тэхника». Киев, 1988 г.
2. Электрические измерения [Текст] ; проф. А. С. Касаткин. — Москва ; Ленинград : изд-во и тип. Госэнергоиздата, 1946 (Москва).

С.Б. Ринчинова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

КОНАКОВСКАЯ ГРЭС: ИСТОРИЯ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАЙОНА

В настоящее время в политехническом музее находится макет государственной районной электростанции. Он выполнен по существующей Конаковской ГРЭС. Что же этот экспонат может рассказать о себе.

Конец пятидесятых годов, идет бурное развитие промышленности и возникает нехватка электроэнергии в центральных районах страны. Было решено построить данную станцию и связать центральные энергосистемы с Северо-Западными.

Осенью 1961 г. на строительстве Конаковской ГРЭС широким фронтом развернулось производство земляных работ. Началось возведение временных объектов строительства, сооружения подъездных автомобильных и железных дорог, грунт снимали под главный корпус, под береговой насосной станции. В те времена была всесоюзная коммунистическая стройка, специалисты и рабочие приезжали со всего советского союза.

В конечном итоге, получилось достичь поставленной цели, 1965 г. 10 января был впущен в эксплуатацию первый энергоблок, в этот день станция отмечает свое день рождение. Блоки работали, следующие строились и в 1969 г. вошли в эксплуатацию все 8 блоков, тогда станция заработала на проектной мощности 2400 МВт, каждый блок по 300 МВт, на тот момент эта станция была самая крупная в Европе. Это в свою очередь повлияло на развитие инфраструктуры города.

На сегодняшний день станция продолжает свою работу. После модернизации энергоблоков, общая установленная мощность станция составляет 2520 МВт. Благодаря новой системе удалось достичь максимальной автоматизации технологического процесса энергоблоков.

На территории станции построен музей, хранящий историю с её основ. Самое интересное, что музей бережет послание от комсомольцев, которое пришло к нам в капсуле времени.

В ходе исследуемой работы выяснилась история, способ работы станции и насколько важна в реале электроэнергия.

*Д.А. Грачёв, И.С. Солминов, студенты;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОБЪЕКТ ХРАНЕНИЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ЭЛЕКТРОСВЕРЛИЛКА «И-27»

Механическая обработка деталей из древесины не обходится без сверления. Данный процесс производится с помощью электросверлилок. Их применение значительно ускоряет и облегчает работы по сборке мебели, мостов и других деревянных строительных конструкций.

Электросверлилка И-27 была одним из первых электросверлильных аппаратов с налаженным серийным производством. Она была изготовлена на заводе «Электроинструмент» в городе Выборг в 1952 году и применялась для изготовления отверстий диаметром до 32 мм, необходимых при установке болтовых креплений и удаления дефектных частей древесины. Её также использовали для сверления отверстий в шпалах железнодорожных путей Трансполярной магистрали.

Электросверлилка И-27 — ручной инструмент, который потребляет 600 Вт, при этом число оборотов ротора достигает 2800 оборотов в минуту, что делает его достаточно мощным для использования. Её вес составляет 11 кг без опорных колонн.

По сравнению с предшественниками, И-27 имеет вертикальную стойку, больший диаметр и глубину сверления и КПД. Она может работать непрерывно более длительный промежуток времени, в отличие от ФД-7. Однако экспонат имеет внушительную массу, и у него не предусмотрено наличие встроенного светильника или упора для плеча, что уступает по характеристикам новой модели И-151.

Электросверлилка И-27 отражает конструктивные особенности электрифицированных сверлильных инструментов по дереву, выпускавшихся в 50-х годах 20 века. В данный момент экспонат находится в Политехническом музее в удовлетворительном состоянии.

Литература

1. «Электросверлилка по дереву И-27. Руководство по эксплуатации» Судакович Д.И., Москва, 1949.
2. «Электросверлилка И-151. Паспорт и руководство по эксплуатации», СССР. М-во строит., дор. и коммунального машиностроения, 1967.
3. «Справочник по механизированному ручному инструменту» Судакович Д.И. и Бернадский Г.И., Ленинград, 1954.

*Р.Д. Лизогуб, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИСТОРИЯ ГАЭС В РОССИИ

3 апреля 2023 года Ф.Ю. Опадчий, председатель Правления АО «СО ЕЭС», заявил, что ГАЭС — самый технологически эффективный способ промышленного накопления для решения системных задач и что пока ничего лучше ГАЭС для накопления электроэнергии в системно значимых объемах нет [1]. В этом контексте изучение истории развития ГАЭС и особенностей конструкции данного типа ЭС в Российской Федерации приобретает особую значимость.

Гидроаккумулирующие электростанции составляют существенную часть энергетического комплекса в самых разных странах: США, Германия, Франция, Италия, Япония. Первую ГАЭС в мире мощностью около 100 кВт ввели в эксплуатацию в 1882 году в Леттеме, в Швейцарии. Сегодня ГАЭС — это 90% всех мощностей накопления в мире. На территории Российской Федерации в настоящее время функционируют три ГАЭС: Загорская, Зеленчукская и Кубанская.

Время пуска и смены режимов работы ГАЭС измеряется несколькими минутами. Это самый оптимальный тип манёвренных **электростанций**, способных повысить, во-первых, надёжность и, во-вторых, экономичность работы энергосистемы. Тепловые и атомные электростанции не могут резко снижать вырабатываемую мощность во время уменьшения потребления, из-за этого в ночное время себестоимость электроэнергии довольно сильно возрастает. ГАЭС необходимы для выравнивания суточного графика электрической нагрузки и работают в двух режимах: турбинном и насосном [2]. Гидроагрегаты используются для регулирования частоты и напряжения в энергосистеме. Объекты ВИЭ имеют резко переменный характер выработки, поэтому использование ГАЭС необходимо для увеличения возможности производства «зеленой» электроэнергии.

Литература

1. Системный оператор ЕЭС // ГАЭС — самый технологически эффективный способ промышленного накопления для решения системных задач [Электронный ресурс]: URL: https://t.me/so_ups_official/1016 (Дата обращения: 30.09.2023).
2. **Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г.** «Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике», 2008.

В.С. Товпеко, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПЕРВАЯ ШКОЛА ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ РОССИИ

Отечественная война 1812 года показала необходимость создания и развития инженерных войск. Император Александр приказал сформировать саперный батальон лейб-гвардии, обучение которого началось в 1818 году.

Первый опыт применения гальванизма для воспламенения пороха был произведен исполняющим обязанности Действительным Статским Советником Бароном Шиллингом фон-Канштадтом в 1822 году. Его первые опыты заключались в воспламенении зарядов, погруженных в воду.

Чтобы найти соучастников для развития гальванизма, Барон Шиллинг фон-Канштадт явился к Генерал-Адъютанту Шильдеру и поведал о своих опытах. На тот момент стала ясна ценность данного открытия, практическая сторона которого ещё требовала тщательной доработки.

23 апреля 1828 года Шиллинг получил директиву генерального инспектора саперных войск, предписывающую ему продолжить исследования по разработке переносной гальванической батареи для подрыва мин, что заложило основу электротехнического образования и привело к созданию первых в мире специальных электротехнических учебных заведений.

В декабре 1838 года по указу Николая I была создана мастерская для производства изолированных проводов, в 1839 году был сформирован Комитет о подводных опытах. 16 января 1840 года была сформирована команда для теоретического обучения гальванизму и способам применения его в военном деле — Учебная команда Лейб-Гвардии при Сапёрном батальоне.

Для устного изложения офицерам теории гальванизма был приглашен Академик Якоби, который разработал улучшенные гальванические батареи и новую конструкцию минных запалов, организовал учебную команду по гальванизму и начал производство электротехнических устройств.

Мастерская Петропавловской крепости стала первым производственным и научно-техническим центром отечественной электротехники.

Литература

1. **А. Волкенштейн** «История лейб-гвардии Сапёрного батальона 1812–1852», 1852 г.
2. «Столетие военного министерства. 1802–1902», 1902 г.

*В.С.Товпеко, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОСТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА «Р-556»

Реохордный мост переменного тока «Р-556» с ручным уравниванием выпущался с 1964 года. Малогабаритный переносной мост предназначен для измерения емкости и индуктивности на переменном токе частотой 1000 ± 70 герц и сопротивления на постоянном токе. Источником питания служат встроенные батареи постоянного тока [1].

Последователем моста переменного тока «Р-556» стал цифровой автоматический мост. Успех направления цифровых автоматических мостов обусловлен использованием нового принципа построения, разработанного советскими учеными, а именно принципа экстремального уравнивания с параметрической модуляцией.

Несмотря на преимущество новых цифровых технологий, мост переменного тока «Р-556» сохранил свою актуальность: он был достаточно широко применим в качестве лабораторного оборудования для Киевского энергетического университета. В наши дни мост переменного тока «Р-556» используется как лабораторное оборудование для биотехнологической и сельскохозяйственной отраслей для измерения электрического сопротивления при определении жаростойкости культур по сопротивлению их тканей электрическому току.

Малогабаритный переносной мост применим также и в строительстве: он позволяет измерить электрический параметр для определения фазового состава влаги в порах строительных материалов.

В экологии и пищевой промышленности мост переменного тока «Р-556» также находит широкое применение в определении общего содержания солей в минеральной, морской и речной воде, расчёте константы равновесия, в осуществлении контроля качества дистиллированной воды и жидких пищевых продуктов.

Мост переменного тока «Р-556» изготовлен в 1966 году на «Киевском заводе электротехнической аппаратуры», который был награжден орденом Трудового Красного Знамени в год выпуска данного прибора [2].

Литература

1. Новые приборы и комплектные устройства для точных электрических и магнитных измерений. Экспериментальное производственно-полиграфическое предприятие УкрНИИНТИ. Киев, 1970.
2. **О.П. Гусев.** Девиз — точность. Изд-во «Тэхника». Киев, 1988.

*И.М. Платицин, С.А. Тюмайкин, студенты;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ «ЭН-528/160»

Реле напряжения предназначены для контроля величины напряжения в электрических цепях и формирования управляющего воздействия для отключения электроустановок и электроприборов при отклонении напряжения за установленные пределы.

В 40-е годы XX века, эпоха второй мировой войны, характеризовалась не только геополитическими перемещениями, но и технологическими инновациями, включая совершенствование и применение реле напряжения, игравших важную роль в энергетической стабильности и безопасности в условиях перемен. Одним из таких реле являлось реле напряжения ЭН-528/160.

Реле ЭН-528/160 было разработано и создано на Чебоксарском Электроаппаратном заводе (ЧЭАЗ) в 40-е. Конструкции реле напряжения серии ЭН-520 были разработаны по образцам фирмы Siemens.

Технологические инновации в области реле напряжения, заложенные в 40-е годы, оказались весьма значимыми для последующих десятилетий. Современные системы управления напряжением и защиты электросетей продолжают воспроизводить и совершенствовать принципы, заложенные в это период.

Одной из самых значительных разработок была серия РН-50 взамен серии ЭН-520, которая была снята с производства в 60-е года. Освоение этого реле вызвало цепную реакцию модернизации или разработки новых реле, использующих в качестве исполнительного органа механизм реле РН-50.

Литература

1. Министерство энергетики и электрификации СССР «Инструкция по проверке и наладке реле тока и напряжений серий ЭТ, РТ, ЭН, РН», 1979 г.
2. **В.В. Овчинников:** «Электромагнитные реле тока и напряжения» 1965 г.
3. **О.Б. Брон:** «Низковольтные и электрические аппараты» 1958 г.

*В.Ю. Кузьмина, А.Н. Жмурко, студенты;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ТРАНСФОРМАТОР СИЛОВОЙ ТРЁХФАЗНЫЙ ТИПА ТМ 180/6

Трансформатор ТМ-180/6 мощностью 180 кВА предназначался для понижения напряжения с 6 кВ до 400В.

Музейный предмет КП 859 поступил в музей с Трансформаторного завода по акту № 341 от 12.03.1939 для выставки к XVIII съезду ВКП(б) на основании распоряжения Наркомата электропромышленности и электростанций от 14.02.1939 № 5813/118. После окончания Великой Отечественной войны Трансформатор силовой тип ТМ-180/6 в числе других предметов экспонировался на выставке «Электропромышленность СССР», которая была открыта в Политехническом музее в 1947 году.

Завод, который производил трансформатор ТМ-180/6 — «Московский трансформаторный завод», позднее «Электрозавод». На данный момент его выкупила иностранная компания «ERSO». ERSO был создан в конце 2020 года на базе активов АО «Электрозавод» по решению Группы АФК «Система».

В послевоенные годы выпуск трансформаторного оборудования на заводе превзошел довоенный уровень в несколько раз. На Электрозаводе изготавливались трансформаторы для строительства канала «Москва — Волга», для Московского метрополитена, высотных зданий Москвы, Останкинской телебашни, Дворца съездов в Кремле. Также данный трансформатор применялся на городских понижительных подстанциях для электроснабжения бытовых и промышленных потребителей электрической энергией.

В настоящее время, в качестве энергосбережения и уменьшения потерь предлагается заменить устаревшие трансформаторы классом напряжения 6/0,4 кВ на современные трансформаторы ТМГ с улучшенными техническими характеристиками. Замена позволит избежать выхода из строя имеющихся трансформаторов, создания аварийных ситуаций и снизить нерациональное энергопотребление. Аналогом ТМ-180/6 на сегодняшний день является ТМГ-160/6.

Литература

1. «Сборка масляных трансформаторов малой и средней мощностей», Е.Г. Минскер, 1959 г.
2. «Учебник энергетической техники», Л.Д. Белькинд, 2020 г.
3. «Силовые трансформаторы», В.Б. Атабеков, 1963 г.

*Н.А. Шаповалов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МАКЕТ «ДВИГАТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА 2 МП-19600-150»

Макет «Двигатель электрический постоянного тока типа 2 МП-19600-150». Выполнен в масштабе 1:5 с использованием различных материалов: Изготовлен на опытной фабрике наглядных пособий и демонстрационной аппаратуры в 1970 году.

Гребной электродвигатель завода «Электросила» — двигатель постоянного тока, двухъякорный, защищенного исполнения, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители, на 2-х стояковых подшипниках с принудительной смазкой. Двигатель применялся на атомном ледоколе «Ленин».

Разработки двигателем выполнялись заводом «Электросила» в период после 1955 г. под руководством начальника конструкторского бюро Н.В. Куликова. При испытании этой машины на заводском стенде возникали трудности с коммутацией. Для выяснения причин неудовлетворительной коммутации было проведено осциллографирование напряжений между пластинами, измерение и осциллографирование полей главных. Эти исследования дали не только возможность разработать мероприятия по наладке коммутации упомянутого двигателя, но позволили в значительной мере уточнить геометрию и обмоточные данные машин постоянного тока.

Его мощность составляла 19 600 л.с., напряжение на обмотке 1200 В (это единственный случай применения такого большого напряжения в судостроении), ток 6400 А, скорость вращения составляет 150/195 об/мин, Вес двигателя — примерно 320 тон, масса якоря — 89 тонн. Размеры якоря в диаметре — 4,5 метра.

За создание гребных электродвигателей 2МП 19600-150 ряд работников завода были награждены орденами и медалями СССР, а Н.В. Куликов был удостоен Ленинской премии. Исследования работы гребного электродвигателя 2МП 19600-150 послужили толчком для дальнейшего изучения многоходовых обмоток. Данный электродвигатель является уникальной машиной, на момент создания являлся самым мощным, тяжёлым и передовым электродвигателем не только в России, но и в мире.

Литература

1. **А.К. Антонов.** Пятьдесят лет советской электротехнической промышленности», 1967 г.
2. Сборник «Электросила» № 27, 1968 г.

Секция 57

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Electric power stations

Председатель секции: к.т.н., доцент Монаков Юрий Викторович

Секретарь секции: Посохов Николай Олегович

*В.Д. Битней, студ.; А.А. Тимофеев, асп.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТВФ-110

Избыток реактивной мощности в энергосистеме г. Москвы и Московской области приводит к увеличению напряжения, что влечет за собой снижение надежности работы электрооборудования потребителей [1]. В связи с чем генерирующие компании переводят турбогенераторы в режим потребления реактивной мощности и, как следствие, повышают аварийность генерирующего оборудования (в том числе — из-за роста нагрева активных частей электроустановок, вызванного увеличением потребляемого тока по сравнению с номинальным, и, как следствие, ускорения процессов старения и износа изоляции) [2].

Цель исследования заключалась в анализе проблемы компенсации реактивной мощности путем перевода генерирующего оборудования в режим недовозбуждения.

В рамках данного исследования была построена тепловая модель ТВФ-110 в программном комплексе ANSYS Motor CAD в среде EMag. Верификация осуществлялась за счет паспорта ТГ, данных по потреблению/выдаче реактивной мощности и данных по изменению температуры обмотки и активной стали сердечника статора. Получен результат, показывающий незначительное влияние режима потребления реактивной мощности на нагрев лобовых частей статора. При этом актуальным остается вопрос исследования необходимости введения ограничений, которые вызваны термомеханической деформацией, повышенной вибрацией, приводящей к дополнительному расшатыванию и нарушению монолитности зубцов крайних пакетов сердечника статора, изнашиванию пленок межлистовой изоляции, что может стать причиной нарушения их монолитности и распушения.

Литература

1. «Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2020–2025 годы». Распоряжение Мэра Москвы № 292-РМ от 30 апреля 2020 года.
2. V.D. Bitney, N.N. Smotrov, A.A. Timofeev and A.V. Okhlopkov, “Effect of the Reactive Power Consumption Mode on the Technical Condition of the T3FP-110-2MU3 Turbogenerator,” 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086802.

М.Х. Лахлах асп.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Результаты исследований переходных процессов в системах электропередачи подтвердили, что повреждения изоляции оборудования в большинстве случаев происходят при воздействии импульсных перенапряжений. Точный расчет импульсных перенапряжений в кабельных линиях является сложной задачей из-за взаимного влияния между соседними проводниками. Следовательно, правильный выбор модели кабельной линии является одним из наиболее важных факторов, влияющих на анализ переходных процессов в системах электропередачи [1]. Научная новизна заключается в обосновании выбора математической модели кабельной линии, подходящей для изучения переходных процессов.

Существует два основных вида моделей кабельных линий: с постоянными параметрами, либо частотно-зависимые. Частотно-зависимая модель является более точной, поскольку она учитывает частотную зависимость всех параметров линии. В программном комплексе EMTP существуют следующие математические модели кабельной линии. Модель "PI-Circuit" является моделью линии с сосредоточенными параметрами, которая не учитывает бегущие волны и зависимость параметров линии от частоты. Модель "CP" является моделью с распределенными параметрами, учитывает бегущие волны, параметры линии рассчитываются для заданной частоты. Модель "FDQ" является моделью с распределенными параметрами, учитывает бегущие волны, параметры линии определяются в зависимости от частоты, но получаемые результаты могут не обладать достаточной степенью точности из-за аппроксимации матриц функции распространения волн и матриц волновой проводимости. Модель "WB" является моделью с распределенными параметрами, учитывает бегущие волны, параметры линии определяются в зависимости от частоты переходного процесса, обладает большей точностью благодаря использованию метода "Vector Fitting" для аппроксимации функций в изображениях Лапласа с помощью перемещения полюсов.

Результаты исследования показали, что применение математической модели "WB" позволяет точно рассчитать перенапряжение при моделировании переходных процессов, таких как включение кабельной линии. Применение точной модели линии полезно при анализе перенапряжений в кабельных линиях, а также при решении практических задач.

Литература

1. **Костенко, М.В.** Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения / М.В. Костенко, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн, И.А. Ефремов. — Л.: Наука, 1988. — 302 с.

В.Д. Битней, студ.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВАЯ ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ТЭЦ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Одним из факторов, обуславливающих риск возникновения, а также тяжесть последствий катастроф, в первую очередь, техногенного происхождения, является так называемый человеческий фактор (ЧФ). Управление надежностью ЧФ с целью прогнозирования и предотвращения возможных техногенных аварий и катастроф является чрезвычайно актуальной комплексной проблемой, предполагающей решение целого ряда научных, методических и практических задач.

К сожалению, разработанные и применяемые в настоящее время на практике методические и технические средства контроля состояния работника, а также прогнозирования его возможного изменения являются малоэффективными, а в большинстве случаев просто не позволяют осуществить мониторинг текущего состояния работника непосредственно в процессе выполнения им своих производственных либо служебных обязанностей.

Целью работы является создание эффективных методических и технических средств мониторинга состояния оперативного персонала ТЭЦ в режиме реального времени, а также прогнозирования его возможного изменения для предупреждения повреждения основного оборудования и угрозы здоровью и жизни персонала.

Работа основывалась на использовании поведенческой цифровой модели персонала, накапливающей и анализирующей данные об изменении биометрических параметров работников в течение каждой смены [1]. Для осуществления мониторинга и регистрации динамики изменения биопараметров в течение смены использовались дистанционные неконтактные технологии их регистрации.

Результатом исследования является развитие методических и технических средств для эффективного управления надежностью ЧФ. Экспериментальная эксплуатация опытного образца автоматизированной информационно-измерительной системы мониторинга и прогнозирования в реальных производственных условиях на ТЭЦ-26 (Москва) подтвердила перспективность ее использования в качестве эффективного инструмента управления надежностью ЧФ.

Литература

1. **Алюшин М.В., Колобашкина Л.В.** Мониторинг биопараметров человека на основе дистанционных технологий // Вопросы психологии. — 2014. — № 6. — С. 135–144.

*Е.Д. Смирнова, Г.Д. Трухан, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ АРУ РЗА

В настоящее время в нашей стране происходит переход с иностранного программного обеспечения (ПО) на отечественное. Причиной этого процесса являются: отказ в предоставлении лицензии разработчиками иностранного ПО, неясные перспективы с продлением существующей лицензии или непредоставление технической поддержки. В связи с этим актуальным становится обучение студентов вузов с применением отечественных программ [1].

Целью исследования является изучение функциональных возможностей нового российского программного комплекса «АРУ РЗА» [2] (разработанного в 2010-х годах и в 2022 году внедрённого в промышленную эксплуатацию в подразделениях Системного оператора ЕЭС России) в части разработки расчетной модели, расчета токов короткого замыкания и подготовки методических указаний по выполнению лабораторных работ для студентов.

В рамках обновления учебных курсов МЭИ «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» и «Токи короткого замыкания» разработаны две лабораторные работы: «Разработка расчетной модели и расчет короткого замыкания» и «Эквивалентирование участка электрической сети».

Методические указания содержат теоретическую справку, исходные данные, задание на работу в лаборатории и контрольные вопросы. Лабораторные работы, включающие в себя расчетную схему сети (рис. 1) и указания по параметризации групп линий электропередач с взаимоиנדукцией, проходят апробацию на учебных занятиях студентов 3–4 курсов. Планируется их внедрение в учебный процесс НИУ «МЭИ» на постоянной основе.

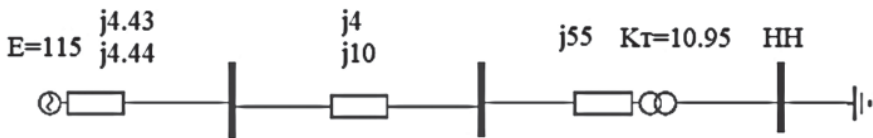


Рис. 1. Модель расчетной схемы

Литература

1. Импортзамещение ИТ в области сфер науки и высшего образования: [сайт]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/importozameshcheniye/>
2. Научно-технический центр Единой Энергетической Системы. Расчет токов короткого замыкания и уставок релейной защиты: [сайт]. URL: <https://arurza.ru/#pvk>

*Д.Э. Толкушкина, студ.;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УНИФИКАЦИИ ИНТЕРФЕЙСА ЧЕЛОВЕК-МАШИНА НА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Разработка методов унификации интерфейса человек-машина (ИЧМ) на высокоавтоматизированной подстанции (ВАПС) представляет интерес ввиду выделения задачи по унификации интерфейсов устройств (ИЭУ) в рамках работы по типизации ИЧМ в целях оптимизации работы с терминалами, о чем свидетельствует обновленный документ ПАО «Россети» [1].

Ввиду большого количества различных производителей устройств и функционалов обслуживаемому персоналу трудно взаимодействовать с ИЭУ. Цель работы заключается в разработке методических материалов для создания унифицированного ИЧМ, необходимого для оптимизации работы.

Одним из элементов, входящим в состав ИЭУ, является ИЧМ, предназначенный для визуализации информации и управления функциями непосредственно по месту установки устройства.

Было проведено исследование документации в целях установки необходимого для отображения функционала устройств. Так, для КП необходима информация о состоянии оборудования, список коммутационных аппаратов присоединения с их параметрами, состояние пакетов данных по каждому протоколу передачи; для УРЗА — параметры сети и защит; для измерительного устройства — параметры сети и векторные диаграммы.

В рамках практической части, реализован ИЧМ в соответствии с методикой для КП на кафедральной установке, в состав которого вошли: основной экран, экран параметров выключателя и экран состояния ИЭУ. Контроллер WAGO позволяет передавать информацию по всем протоколам передачи данных по МЭК 61850, что позволяет в полной мере отследить состояние ИЭУ и пакетов передачи данных. Через веб-панель контроллера был представлен новый интерфейс, реализованный на основе программного обеспечения CoDeSys.

Созданные методические указания позволяют унифицировать интерфейс терминалов различных производителей. Приведение к единому интерфейсу позволит упростить работу персонала ввиду понятного взаимодействия с устройством.

Литература

1. Концепция развития релейной защиты, автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами электросетевого комплекса группы компаний «Россети». Москва, 2022.

*А.А. Самойлова, студ.; А.Г. Тимофеева, асп.;
А.А. Антонов, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ВЕТРЯНУЮ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЮ

В настоящее время действует программа ДПМ ВИЭ 2.0 [1], предусматривающая поддержку строительства электростанций на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на период до 2035 года. На данный момент, актуальной задачей является повышение экономической эффективности строительства ВЭС.

Выработка электроэнергии на ветряной электрической станции (ВЭС) напрямую зависит от погодных условий. Эффективность применения ВЭС связана с коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ), сейчас он составляет 30–45% в мире. Системы накопления энергии (СНЭ), устанавливаемые на ВЭС, в ночное время могут работать в режиме заряда, а в утренние и вечерние часы пика потребления электроэнергии — в режиме выдачи мощности, что повышает эффективность ВЭС.

В работе рассмотрена установка СНЭ на основе литий-ионных аккумуляторных батарей номинальной мощностью 20 МВт и емкостью 140 МВт·ч на ВЭС 60 МВт исходя из продолжительности заряда СНЭ в ночное время в течение 7 часов с 23:00 до 06:00, когда в ЕЭС имеют место минимальные тарифы на электроэнергию.

Согласно результатам технико-экономического расчета капитальные затраты на сооружение ВЭС без СНЭ составляют 8 717 млн рублей. Стоимость СНЭ при текущем уровне цен на СНЭ составит 20 000 млн. рублей. Суммарные капитальные вложения составляют 28 717 млн. рублей. С такими показателями применение СНЭ экономически не обосновывается.

При текущем уровне стоимости СНЭ их применение совместно с ВИЭ может быть обосновано в основном в изолированных системах электроснабжения на фоне дорогостоящего дизельного топлива. Если учесть снижение стоимости накопителя на 20% от капитальных вложений, то проект может окупиться в течение 10,5 лет [2].

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 28.05.2013 № 449** «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».
2. **А.Г. Тимофеева, А.А. Самойлова, А.А. Антонов, И.А. Пуршев.** Использование систем накопления энергии на ВЭС, работающих в составе ЕЭС России // *Электроэнергия. Передача и распределение.* 2023. С. 54–61.

В.Д. Кудрявцев, студ.;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА ГЛАВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Рост потребления электроэнергии приводит к увеличению загрузки ЕЭС России, что в свою очередь нагружает генерирующие станции. Чем больше нагрузка, тем выше цена ошибки, тем больше должно уделяться внимания подготовке персонала и оборудовании [1]. Для повышения уровня подготовки оперативного персонала разрабатываются различного вида тренажеры, имитирующие нормальную эксплуатацию и аварийные ситуации.

Целью работы является разработка тренажера на примере главной электрической схемы гидроэлектростанции, включающая ОРУ 110 кВ, КРУ 10кВ и схему сети 0.4 кВ. Разработка тренажера ведется при помощи специализированной системы автоматического проектирования (САПР) «Sapfir». Данный инструмент имеет возможность как строить логические схемы, так и графические отображения, что позволяет разрабатывать алгоритмы АСУ ТП и видеокадры в одном инструменте. Для этого используются две внутренних библиотеки AUTO, для схем автоматики, и ELECTROCITY, для разработки электрических схем.

Используя, САПР Sapfir и библиотеку ELECTROCITY произведена разработка главной электрической схемы ГЭС, заданы параметры проводников, нагрузок и генераторов. После этого были отрисованы видеокадры главной схемы станции для управления и виртуальные панели главного щита управления и ячейки выключателей 10кВ, которые были смоделированы таким образом, чтобы можно было проводить учебно-тренировочные занятия по их ремонту и эксплуатации.

При помощи библиотеки AUTO были разработаны релейные защиты для каждого вида оборудования, и необходимая система сигнализации. Для симуляции нестандартных случаев на станции были смоделированы отказы для каждого вида оборудования.

Для проверки работоспособности тренажера были произведены различные испытания, которые проверяли работу каждой системы автоматики. Полученные результаты можно использовать для реального обучения персонала станции в качестве аналитического тренажера и проводить аттестационные проверки и тренировки.

Литература

1. **Чичирова Н.Д., Патева Т.А.** Внедрение компьютерных тренажеров при проведении лабораторно-практических работ энергетического профиля // КПЖ. 2011-1.

*Г.О. Голобокова, Н.А. Зенков, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В некоторых регионах России, например, в Забайкальском крае и Республике Бурятия в электрической нагрузке энергосистемы региона преобладает тяговая нагрузка, которая вызывает появление значительной несимметрии и несинусоидальности напряжения. Несимметрия напряжения возникает из-за различных нагрузок по фазам. Источником несинусоидальности являются выпрямительные устройства, используемые при электроснабжении железной дороги [1]. Кроме того, источниками несинусоидальности являются инверторные установки солнечных и ветряных электростанций (соответственно, СЭС и ВЭС), доля которых увеличивается в последние годы.

Целью исследования является оценка показателей качества электроэнергии при технологическом присоединении Жимбирской СЭС, сооружаемой в селе Жимбира Забайкальского края, номинальной мощностью 60 МВт.

Анализ показателей качества электроэнергии выполнен в соответствии с ГОСТ 32144–2013 в точке общего присоединения СЭС и энергосистемы — на шинах РУ 110 кВ Жимбирской СЭС [2]. Для определения коэффициентов несимметрии и несинусоидальности напряжения выполнены расчеты коэффициентов высших гармонических составляющих напряжения и оценка степени несимметрии напряжения на шинах РУ 110 кВ Жимбирской СЭС. Проведенные расчеты показали, что коэффициент несимметрии для разной нагрузки меньше нормально допустимого значения 2,0%, а коэффициенты высших гармоник порядка 26, 28 превышают нормально допустимые значения, что свидетельствует о несоответствии требованиям ГОСТ 32144–2013. Для устранения несоответствия необходимо рассмотреть возможность установки инверторных установок с уменьшенным значение токов высших гармоник или фильтро-компенсирующих устройств.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и модернизации существующих участков сети, а также для обоснования необходимости компенсации гармоник и устранения несимметрии.

Литература

1. **Карташев И.И., В.Н. Тульский, Шамонов Р.Г. и др.;** под ред. Ю.В. Шарова; Управление качеством электроэнергии. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 320 с.
2. **ГОСТ 32144–2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, 2014. — 16 с.

П.М. Авдонин, асп; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) находятся в промышленной эксплуатации более двадцати лет и насчитывают в мире множество устройств в том числе и в России и потенциал их использования до сих пор не исчерпан. Несмотря на множество теоретических исследований для данных устройств, остается ряд актуальных вопросов, касающихся применимости УСВИ для различных прикладных целей. Учитывая повсеместное внедрение УСВИ на строящихся и реконструируемых объектах имеет смысл использовать векторные измерения не только для мониторинга режима.

Актуальность и значимость темы обусловлена наличием технологических нарушений, связанных с ложной работой устройств РЗА, реализующих различные функции РЗА в аварийных и послеаварийных режимах работы энергосистем [1]. В связи с чем возникает необходимость исследования указанных технологических нарушений для выявления причин неправильной работы РЗА, а также разработки решений по предотвращению их неправильной работы, одним из которых является использование измерений от УСВИ.

В работе был исследован и разработан метод для определения параметров схемы замещения силового трансформатора с помощью устройств синхронизированных векторных измерений. Были рассмотрены различные способы расчета параметров схемы замещения: по формулам ТОЭ, методом оптимизации и фильтра Калмана. Произведено сравнение результатов их расчета с точки зрения точности полученных значений параметров. Для более подробного анализа предлагаемый метод был опробован на нескольких моделях Т-образной схемы замещения силового двухмоточного трансформатора. Также было проведено исследование метода на модели трансформатора, работающего в энергосистеме.

Предложенный новый способ расчета параметров Т-образной схемы замещения силового трансформатора по измерениям УСВИ может быть использован для перехода на техническое обслуживание «по состоянию» и своевременного вывода его в ремонт.

Литература

1. Информация о результатах функционирования устройств РЗА в ЕЭС России в 2023 году // Системный оператор единой энергетической системы: [сайт]. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-base/rza/rza-account-analys/rza-results-info/2023/> (дата обращения 27.11.2023).

*И.В. Парамонов, П.В. Ушаков, А.А. Опросичев,
Г.И. Хорошилов, студенты; И.М. Молотов, асп.;
рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНО – ВЕТРОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ

В настоящем докладе представлена модель электрической части солнечно-ветровой генерации с литий-ионной аккумуляторной батареей (АКБ) [1]. Модель послужит в качестве основы для проектирования энергосистем на базе возобновляемых источников энергии с гибридным накопителем энергии, разработки управляющей системы указанных энергосистем, а также оптимизации состава и размеров оборудования с учетом повышения технико-экономических показателей энергосистемы в целом.

В состав моделируемой электрической части входят следующие элементы энергосистемы: солнечная фотоэлектрическая установка, контроллер точки максимальной мощности, ветроэнергетическая установка (ВЭУ), контроллер ВЭУ, контроллер заряда батареи, АКБ.

Модель реализована в отечественной среде SimInTech, которая предназначена для разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев. Имитационная модель электрической части выполнена с использованием библиотеки функциональных блоков «Электроцепи динамика (ЭЦД)» для расчета мгновенных значений параметров электрических цепей.

Исходными данными по инсоляции, скорости ветра и температуре являются среднечасовые данные за год, а также типовой суточный график нагрузки для промышленных предприятий при одноменном режиме работы. Входными и выходными параметрами подсистем являются паспортные технические характеристики на оборудование.

Работа выполнена в рамках проекта «Имитационное моделирование электростанции на основе возобновляемых источников энергии с водородно-воздушным аккумулированием энергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

Литература

1. **Молотов И.М., Счастливцев А.И., Дуников Д.О., Масленникова М.Р., Мезин С.В., Проталинский О.М.** Управление в целях обеспечения балансовой надежности электроснабжения на основе солнечной генерации с водородным аккумулированием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.

О.М. Жолонов, соиск.;
рук. Н.Т. Ниязов к.т.н., доц. (КГТУ, г. Бишкек)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КЫРГЫЗСТАНА

При модернизации и реконструкции системы возбуждения (СВ) гидрогенераторов Курпсайской ГЭС (ГГ КГЭС) внедрена статическая тиристорная система самовозбуждения с цифровым автоматическим регулятором возбуждения (АРВ) на микропроцессорной базе (рис. 1). В защиту СВ входит программный модуль на каждом канале регулирования, при этом в работе всегда находятся два модуля, независимо от того, выполняют ли функции регулятора возбуждения, либо находится в резерве.

Программному обеспечению — выполнено 11 защит, а аппаратному реализовано 4 защиты [1].

На КГЭС с 1981 по 2018 годы был в эксплуатации унифицированный электромагнитный АРВ-СД с магнитными усилителями, в котором было предусмотрено 9 защит.

АРВ имеет 5 каналов регулирования, подключенных к селектору, который осуществляет выбор регулятора, производит их логическое сравнение и выбирает канал регулирования, в котором должен работать генератор.

Регулятор АРВ функционально входит в каждый канал регулирования СВ и обеспечивает 10 функций по программному обеспечению [1].

На унифицированном электромагнитном АРВ-СД с магнитными усилителями, при аварийных режимах работы оборудования ГГ КГЭС, из-за некорректности устройств СВ, происходили отказы системы и сбои в работе АРВ-СД.

Современные цифровые микропроцессорные терминалы устройств СВ КГЭС увеличили быстродействие регулятора самонастраивающихся автоматических систем управления. Тем самым повысили статическую и динамическую устойчивость для поддержания параллельной работы электроэнергетической системы Кыргызстана.

Литература

1. Система возбуждения СТС-РЭМ-2100-250-2,5УХЛ4. Руководство по эксплуатации МСДЕ.651422.022РЭ. Санкт-Петербург. 2019. с. 7–15.

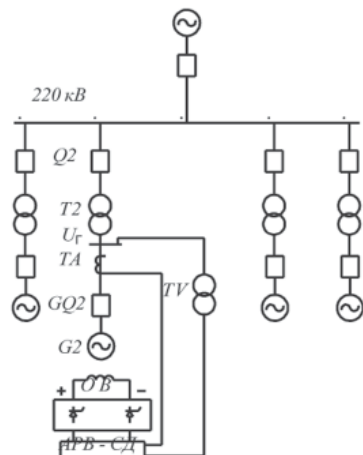


Рис. 1. Регулирование тока возбуждения СГ АРВ-СД КГЭС

М. Шекари, асп.; рук. Д.Н. Асаинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПУСКЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ВОЗНИКНОВЕНИИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Дизель-генераторные установки (ДГУ) могут быть укомплектованы разными типами дизельных двигателей, синхронных генераторов (СГ) и систем возбуждения (СВ). От состава и типа этого оборудования зависит ход переходных электромагнитных и электромеханических переходных процессов (ЭМПП) и успешность пуска механизмов собственных нужд [1], обеспечивающих сохранность оборудования и безопасность персонала электростанции. При проведении исследований оценено влияние такого фактора как тип СВ. Анализу подвергнуты результаты ЭМПП при пуске насосного агрегата (НА) от ДГУ, укомплектованной статической тиристорной системой самовозбуждения (ST1A) и диодной бесщеточной системой самовозбуждения с компаундированием (ST3A). Математическое моделирование произведено в программе EMTP-RV. Разработаны математические модели ДГУ мощностью 2700 кВт с вышеуказанными СВ, НА мощностью 1050 кВт. На рис. 1а и 1б показано изменение напряжения на выводах статора СГ и частоты вращения ДГУ соответственно при пуске НА в момент времени 1 с, а также последующем трехфазном металлическом КЗ на выводах статора СГ в момент времени 12 с.

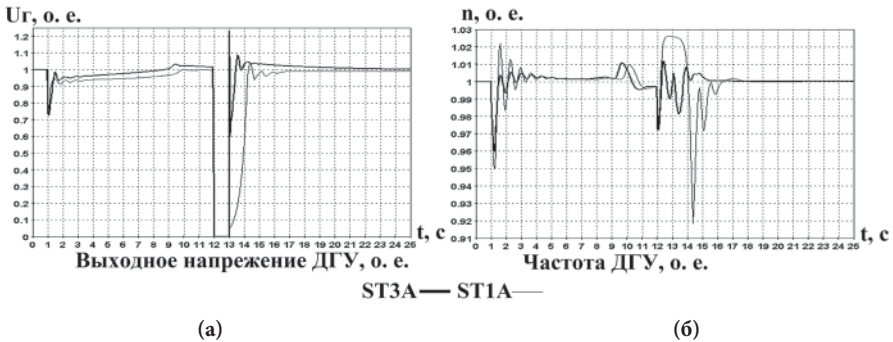


Рис. 1. Изменение напряжения статора (а), изменение частоты вращения ДГУ (б)

Обе СВ обеспечили успешный пуск НА и сохранение динамической устойчивости системы при КЗ. ST3A обеспечило меньшее отклонение частоты и быстрое восстановление напряжения. Результаты исследований помогут принять решения при проектировании изолированных электроэнергетических систем и закупках ДГУ разных производителей.

Литература

1. **Самойлов, М.В., Паневчик В.В.** Системы возбуждения типовых синхронных генераторов // Основы энергосбережения. 2002. № 19. С. 245–257.

*М.М. Бушуев, В.Д. Терентьев, А.В. Шустров, студенты;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОПРОВОДОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Применяемые в настоящее время электромагнитные трансформаторы тока имеют основной недостаток — насыщение магнитопровода, вызывающее неправильные действия РЗА, недоучёт электроэнергии [1, 2].

Начинают применяться цифровые измерительные трансформаторы тока и напряжения (ЦТТН), в которых проявление описанных недостатков может быть снижено или исключено. В конструкцию ЦТТН входят первичные преобразователи тока (ППТ) [3], выполненные с применением аморфной стали для снижения погрешностей.

В работе проведено исследование кривых намагничивания магнитопроводов из аморфной стали для ППТ ЦТТН. Полученные при помощи испытательных комплексов РЕТОМ–25 и СТ Analyzer представлены на рис. 1. Проанализированы решения, направленные на снижение влияния эффектов насыщения, в том числе с применением разрезных магнитопроводов (Образец 5 на рис.1).

Полученные данные могут быть использованы для создания уточнённых математических моделей трансформаторов тока.

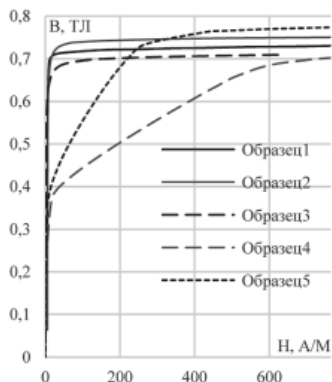


Рис. 1. Кривые намагничивания

Литература

1. **Гречухин В.Н.** Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 кВ станций и подстанций энергосистем: «Вестник ИГЭУ», Вып. 4, 2006.
2. **Кужиков С.Л., Нудельман Г.С.** Обеспечение правильной работы микропроцессорных устройств дифференциальной защиты при насыщении трансформаторов тока // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 4. С. 12–18.
3. Цифровые измерительные трансформаторы [Электронный ресурс] // ООО НПО "Цифровые измерительные трансформаторы": [Офис.сайт]. 2015. URL: <https://di-gittrans.ru/> (дата обращения: 15.11.2023).

*С.А. Зализный, Е.А. Зализная, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ИСТОЧНИКА РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Рост тарифов на электрическую энергию приводит к увеличению в ЕЭС России доли распределённой генерации, которая, по настоящим оценкам [1], составляет около 10% суммарной величины генерирующих мощностей в энергосистеме.

К источникам распределённой генерации (ИРГ) относят генерацию на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — ветровые, солнечные электростанции и др., топливную генерацию — газотурбинные установки, газопоршневые установки, дизель-генераторные установки, микротурбины и др., а также системы накопления электроэнергии (СНЭЭ).

Сетевой комплекс России не был рассчитан на интеграцию источников генерации в сети низкого и среднего классов напряжения. Наличие ИРГ вызывает реверсивные потоки мощности в зависимости от режимов генерации и потребления в узлах сети. Это приводит к возникновению ряда технических проблем, одной из которых является недопустимое повышение напряжения в распределительных сетях НН и СН [2].

Для исследования указанной проблемы, возникающей при технологическом присоединении ИРГ к существующей системе электроснабжения, в программном комплексе Nерplan была разработана модель реальной распределительной сети класса напряжения 10 кВ, состоящая из эквивалента питающей сети на шинах 10 кВ подстанции 110/10 кВ, участков воздушных и кабельных ЛЭП 10 кВ, 74 трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ, ИРГ номинальной мощностью 2 МВт. Выполнена параметризация участков ЛЭП, трансформаторов и электрических нагрузок ТП. Проведены расчёты установившихся режимов, выявлена проблема повышения напряжения у потребителей на уровне напряжения 0,4 кВ в режиме выдачи ИРГ в распределительную сеть 10 кВ максимальной мощности.

Для регулирования напряжения предложено использовать регулировочные блок-трансформаторы напряжением 10/10 кВ с регулированием напряжения под нагрузкой в диапазоне $10 \text{ кВ} \pm 9 \times 1,78\%$.

Литература

1. **Илюшин П.В.** Системный подход к развитию и внедрению распределенной энергетики и возобновляемых источников энергии в России // Энергетик. 2022. № 4. С. 20–27.
2. **Masters C.L.** Voltage rise: the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines // Power Eng J 2002; 16.1:5–12.

*Д.С. Доброхотов, асп.; И.А. Римаренко, соиск.;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ SCADA-СИСТЕМ НА БАЗЕ SYTRACK

Для оптимизации процессов контроля и управления, а также повышения надежности и безопасности на промышленном производстве внедряется SCADA система.

Оперативное управление современными автоматизированными подстанциями ведется с автоматизированных рабочих мест (АРМ), работающих под управлением SCADA. Проектирование мнемосхемы на АРМ требует больших трудозатрат, а также может приводить к случайным ошибкам.

Для решения этой проблемы разрабатывается программное обеспечение, оптимизирующее работу инженера-разработчика. Программный комплекс SyTrack позволяет автоматизировать разработку мнемосхемы высокоавтоматизированной подстанции (ВАПС) в части МЭК-61850.

Развитие технологии ВАПС базирующихся на МЭК-61850 открывает возможности автоматизации процесса разработки мнемосхем. Для ВАПС является обязательным разработка файла подстанции SCD, который описывает все элементы для разработки мнемосхемы [1].

Файл подстанции SCD представляет собой текстовый файл формата SCL. Соответственно для автоматизации процесса проектирования АРМ необходимо выбрать файлы описания открытого текстового формата.

За основу графического отображения SyTrack был выбран файл SVG, для описания динамизации объектов мнемосхемы и их связь с серверными сигналами выбраны файлы XML, которые представляют собой текстовые файлы открытого формата [2].

Для автоматизации проектирования были создана типовые элементы первичной схемы подстанции, которые автоматически привязываются к атрибутам данных логических узлов из файла SCD.

Итогом работы является программа для проектирования мнемосхемы подстанции с автоматической привязкой объектов к данным из файла SCD.

Литература

1. **ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009.** Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях. Москва: Стандартинформ, 2011.
2. **SCADA-система “SyTrack”.** Быстрый старт ПО «SyTrack» / ООО «ДЭП». URL: <http://dep.ru/support/dokumentatsiya/scada-sytrack/> (дата обращения: 14.11.2023)

А.А. Комаровский, студ.;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА НА БАЗЕ SCADA TЕСON

Промышленные предприятия разного рода в целях повышения эффективности, надёжности и безопасности производства вынуждены оптимизировать производственные процессы посредством внедрения SCADA-систем. Важнейшим компонентом разработки SCADA является создание удобного и эффективного человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). Этот аспект играет ключевую роль в оптимизации работы системы электроснабжения.

Одна из закономерностей научно-технического прогресса — ускоренное возрастание сложности и масштабов технических систем [1]. Инженеру приходится сталкиваться с масштабными задачами при разработке ЧМИ, что требует дополнительного времени и внимания к деталям.

Решением этой проблемы в рамках SCADA “Тесон” является использование программного обеспечения, оптимизирующего работу инженера-разработчика. Одной из таких программ является “Topology Builder”, которое упрощает разработку такого не маловажного аспекта системы электроснабжения, как топология.

При использовании «Topology Builder» начальными данными для расчёта является однолинейная схема энергоснабжения, а также перечень тегов и сигналов, соответствующих реальному оборудованию и его месту на схеме. Итогом работы ПО “Topology Builder” является создание файлов импорта в SCADA “Тесон”, таких как: xml-файлы технологических объектов, программного кода, мнемосхемы [2].

В работе освещены основные методы и стандарты разработки ЧМИ. С учётом рассмотренных выше параметров на примере конкретной электроустановки были применены методы оптимизации, полученные результаты представлены через описание процесса работы “Topology Builder”. Новизна исследования заключается в уникальном подходе к созданию мнемосхем через стороннее ПО. Итогом работы является разработка методических материалов для оптимизации построения мнемосхем. В перспективе полученные результаты являются не только готовым решением для оптимизации процесса разработки ЧМИ, но и представляют уникальный взгляд на решение данной проблемы.

Литература

1. **Корнеев Н.В., Минитаева А.М.** Человеко-машинный интерфейс как важнейший компонент архитектуры перспективных эргатических систем управления // Ученые записки РГСУ. 2012. № 7(107). С. 93–97.
2. **SCADA-система “Тесон”.** Руководство программиста. Иваново: ООО “ТеконАвтоматика”, 2020. 292 с.

А.Ю. Рабцун, студ.;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Телемеханика является неотъемлемой частью автоматизации, которая призвана обеспечить контроль всех рабочих процессов и, при необходимости, корректное вмешательство человека в работу распределенных энергосистем. В рамках построения интеллектуальных, адаптивных, вычислительных систем дистанционное управление является одной из важнейших задач, стоящих перед проектировщиками. В настоящее время высокоавтоматизированные подстанции выполняются на базе протокола МЭК 61850. Однако данный протокол избыточен для решения задач телемеханики, так как имеет излишний объем передаваемой информации. В то время как протокол МЭК 60870-5-104 использует принцип передачи измерений, принятый в телемеханике (в качестве источников информации об аналоговых измерениях выступают номер канала или контрольная точка устройства телемеханики). Данный протокол реализуется в большинстве микропроцессорных систем, что делает проблему телемеханики особенно актуальной.

Для решения задач телемеханики были разработаны нормативные материалы [1], регламентирующие перечень передаваемых сигналов для различных типов присоединений, была проведена работа по систематизации информации и выявлены наиболее значимые параметры, которые должны передаваться в том числе: телеизмерения (значение тока и напряжения), телесигнализация (состояние коммутационных аппаратов) и телеуправление (команды на вкл/откл оборудования).

Задачей данной работы является разработка методических материалов для изучения задач реализации системы телемеханики в учебной лаборатории кафедры «Электрические станции», где присутствуют модели и реальные имитаторы присоединений, а также контроллеры и SCADA система, которые обеспечивают поддержку протокола МЭК 60870-5-104. Для иллюстрации работы системы телемеханики разработан программно-технический комплекс, создана мнемосхема и сконфигурирован цифровой обмен.

Созданные методические указания позволят студентам отслеживать изменения в системе, изучая мнемосхему в SCADA системе, а также моделировать цифровой обмен согласно протоколу МЭК 60870-5-104.

Литература

1. **ГОСТ Р 59948-2021** Дистанционное управление. Требования к управлению электросетевым оборудованием и устройствами релейной защиты и автоматики.

*И.Е. Поляков, А.А. Соловьева, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Задачей подключения новых ветровых электростанций (ВЭС) к энергосистеме России является минимизация затрат на их сооружение с целью соответствия программе Правительства России по поддержке строительства электростанций на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) по максимальной стоимости 1 кВт установленной мощности [1]. Для этого применяют упрощенные схемы распределительных устройств (РУ) ВЭС, подключение ВЭС отпайками от существующих ЛЭП и др. [2].

Целью исследования является разработка наиболее экономичных вариантов схемы выдачи мощности (СВМ) ВЭС, сооружаемой в районе г. Фролово Волгоградской области. Окончательная мощность ВЭС зависит от ограничивающих элементов СВМ.

В результате работы получены три варианта СВМ. Для каждого варианта определена ориентировочная протяженность ЛЭП, выбрано сечение провода ЛЭП исходя из выдачи ВЭС максимальной мощности, рассчитаны установившиеся режимы с использованием программы RastrWin.

В варианте СВМ № 1 ВЭС подключается двухцепной воздушной линией (ВЛ) 110 кВ длиной 31,5 км к РУ 110 кВ ПС 220 кВ, мощность ВЭС равна 390 МВт. В варианте СВМ № 2 ВЭС подключается одноцепной ВЛ 220 кВ длиной 31,0 км к РУ 220 кВ ПС 220 кВ, мощность ВЭС равна 548 МВт. В варианте СВМ № 3 ВЭС подключается одноцепной ВЛ 220 кВ длиной 30,0 км к РУ 220 кВ ПС 500 кВ, мощность ВЭС равна 546 МВт.

Установлено, что сооружение ВЭС по варианту СВМ №1 имеет удельные затраты на единицу номинальной мощности ВЭС (руб./кВт) на 10% меньше, чем по вариантам СВМ № 2 и № 3.

Результаты исследования могут быть использованы при оптимизации затрат на сооружение новых ВЭС. Окончательный вариант подключения ВЭС и мощность выбирает инвестор путем оценки каждого из разработанных вариантов СВМ.

Литература

1. О поддержке технологического присоединения генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/489> (дата обращения: 28.11.2023).
2. **Г.Ч. Чо, к.т.н., доц., А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»).** Электрическая часть ветроэлектростанций: учебное пособие / — М.: Издательство МЭИ, 2020. С. 1–54.

А.Э. Мельничук, студ.;
рук. А.Д. Лхамдондог, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЕ РАБОТЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ПОЯВЛЕНИЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

На предприятиях электроэнергетики используются программно-технические комплексы автоматизированной системы технологического управления. При переходе работы предприятия электроэнергетики на новые ПТК или при расширении возможности имеющихся, возникает трудность при переносе уже введенных данных и смоделированных схем, так как выполнять повторное моделирование слишком затратный и долгий путь.

В соответствии с указом Президента от 07 мая 2018 г. №204 компанией «РОССЕТИ» была сформирован концепт «Цифровая трансформация 2030», в которой отражены принципы и шаги перехода к цифровым электрическим сетям [1]. Концепция подразумевает создание цифровой подстанции, цифрового РЭС, а также изменение работы электрических сетей.

Сейчас отечественные компании ведут разработку цифрового двойника энергосети по запросу ПАО «РОССЕТИ». Эти проекты позволят повысить качество работы АСТУ и организовать единую систему. Новизна проекта заключается в доработке отечественных протоколов передачи данных, прописанных в ГОСТ Р 58651.9-2023, принятого в марте 2023-го года, и являющимися аналогами МЭК-453.

Цифровой двойник является единой базой данных, которая содержит информационные блоки об электрической сети. Такой массив интегрируется с другими подсистемами, и в режиме реального времени происходит синхронизация данных в соответствии с физической электрической сетью. Цифровой двойник актуален для современных энергокомпаний, так как у электрической сети есть десятки представлений в различных подразделениях. Следует отметить, что у проекта имеются большие перспективы в связи с мировыми событиями и санкциями.

В результате исследования нормативной документации было определено, что создание информационной модели энергосети России в данный момент активно ведется. Опрос представителей отечественных IT-компаний, которые взаимодействуют с электротехническими специалистами, показал, что это направление будет активно развиваться в ближайшие годы и в него вкладываются значительные денежные ресурсы.

Литература

1. **Указ Президента России № 204.** «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», 2018.
2. **ГОСТ Р 58651.9-2023.** «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Схемы электрических соединений электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики»: ОКС 27.010, 2023.

Н.О. Посохов, асп.; рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ

В настоящее время в электрических сетях напряжением 110 и 220 кВ в крупных мегаполисах все чаще используются кабельные линии (КЛ) с пофазно-экранированными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, вместо воздушных линий (ВЛ) [1], так как они не требуют больших затрат на землеотвод. В ранее опубликованных работах преимущественно рассматривались ВЛ. Публикаций, рассматривающих особенности КЛ и их влияние на параметры переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН), мало.

В данной работе исследовалось влияние способов прокладки КЛ горизонтально с просветом между соседними кабелями равным наружному диаметру кабеля и треугольником без просвета на скорость нарастания и пиковые значения ПВН.

Для исследования ПВН была разработана расчетная модель участка сети в программном комплексе EMTP-RV содержащего подстанцию (ПС) с распределительным устройством 220 кВ и КЛ протяженностью 10 км, выполненную кабелями марки FXLJ-1x1000/185-220. Эквивалентная емкость оборудования одной секции шин ПС 220 кВ на землю принята равной 14,7 нФ, междуфазная 3,7 нФ. Кабели прокладывались в грунте с удельным сопротивлением 100 Ом на глубине 1,5 м. Экраны кабелей соединялись между собой и заземлялись с обеих сторон КЛ. Сопротивление заземляющих устройств принято 0,5 Ом в соответствии с ПУЭ. Расчетным было принято однофазное КЗ на удалении 5 км от контактов элегазового выключателя, как наиболее тяжелое расчетное условие при проверке выключателей по ПВН. Верификация была проведена путем сопоставления значений токов однофазного и трехфазного КЗ в начале и в конце линий электропередач, полученных с помощью расчетных моделей и вручную. Расхождение результатов при этом не превысило 5%.

Результаты исследования показали, что при разных способах прокладки КЛ разница пиковых значений и скоростей нарастания ПВН не превышает 3%. Расчет ПВН можно делать применительно к любой фазе, так как практически способ прокладки КЛ не приводит к значительным изменениям пиковых значений и скоростей нарастания, требования с точки зрения ПВН к способу прокладки КЛ отсутствуют.

Литература

1. Положение о технической политике АО «ОЭК» Утверждено приказом ОАО «ОЭК» от 09.09.2015 № 501 в редакции приказа АО «ОЭК» от 15.03.2017 № 122 — 283 с.

О.И. Данилов, асп.; рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

В РФ развивается строительство электростанций на основе возобновляемых источников энергии. Так в энергосистеме Астраханской области по состоянию на 01.01.2022 г. общая доля ветряных электростанций (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС) достигла 45% от суммарной установленной мощности электростанций в регионе [1]. В связи с этим необходимо учитывать поведение ВЭС и СЭС в аварийных режимах, например, при коротких замыканиях (КЗ). Сегодня на ВЭС и СЭС применяются инверторные установки (ИУ), которые в качестве опорного напряжения используют напряжение внешней электрической сети, т.е. работа ИУ в изолированном от энергосистемы режиме невозможна.

В первой части данной работы проведен анализ паспортных данных ИУ, в результате которого установлено, что ИУ способны работать длительное время, если напряжение внешней электрической сети на выходе ИУ находится в диапазоне $U_{\text{ном}} \pm 10\%$, при большем отклонении напряжения продолжительность работы ИУ ограничена настройками характеристики LVRT (Low voltage ride through) — функции ИУ по поддержанию внешней сети при отклонении напряжения сети ниже допустимого значения [2]. Таким образом, возможность сохранения работы ВЭС (СЭС) при близких КЗ в энергосистеме со снижением напряжения во внутренней сети ВЭС (СЭС) менее 90% от $U_{\text{ном}}$ зависит от продолжительности КЗ.

Во второй части работы в программном комплексе Rastr проанализирована устойчивость работы ВЭС номинальной мощностью 120 МВт при коротких замыканиях. Рассмотренная ВЭС подключена к энергосистеме двумя ЛЭП 110 кВ по схеме «заход-выход». В результате исследования выявлены объекты, КЗ на которых приводят к отключению ВЭС.

Результаты работы могут быть использованы в актуализации Положения по управлению режимами в энергосистемах регионов в части учета отключения ВЭС при настройках системной автоматики ограничения перегрузок оборудования (АОПО).

Литература

1. Обосновывающие материалы. Схемы и программы развития электроэнергетических систем на 2023 — 2028 годы. Астраханская область. [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/public_discussion/support_materials/04_Astrakhanskaja_oblast.pdf, свободный; Дата обращения: 12.11.2023
2. **Г.Ч. Чо, А.А. Антонов.** Электрическая часть ветроэлектростанций: учебное пособие / — М.: Издательство МЭИ, 2020. С. 1–54.

*В.Ф. Кириченко, В.А. Фёдорова, аспиранты;
рук. Г.В. Глазырин, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ С ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Синхронизация — это процесс, осуществляющий корректное включение синхронных генераторов на параллельную работу с остальными частями электроэнергетической системы (ЭЭС). К данному процессу относится как включение вновь устанавливаемого оборудования, так и вынужденный быстрый ввод резервов генерации для ликвидации аварийных ситуаций [1].

На практике процесс синхронизации сопряжен с некоторыми трудностями. Во-первых, при выполнении синхронизации вручную персоналом возрастает вероятность неуспешности процесса в силу наличия человеческого фактора. Вторая проблема — нерациональность использования лишь одного метода синхронизации для пуска оборудования. В некоторых случаях требуется быстрый ввод резервов генерации. Проблема исследования заключается в отсутствии на рынке интеллектуальной системы синхронизации, способной функционировать в условиях неопределенности режима ЭЭС и производить синхронизацию различными методами. На основании недостатков алгоритмов существующих устройств синхронизации принято решение по разработке автоматической системы синхронизации на базе комплекса КПА-М (производство новосибирской компании «ИАЭС») [2].

В рамках исследования использованы методы математического моделирования, экспериментального снятия характеристик холостого хода генератора и обработки входных сигналов напряжения.

Актуальность исследования заключается в разработке и настройке автоматической multifunctionальной системы синхронизации, которая позволит осуществлять процесс синхронизации не только автоматически, но и интеллектуально различными методами. Также в рамках исследования предлагается использование метода ускоренной синхронизации, который основан на расширении диапазона угла δ между векторами напряжений генератора и системы, а также снижении тока, подаваемого в обмотку возбуждения.

Литература

1. **Барзам А.Б.** Системная автоматика. — 4-е изд., перераб. доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 446 с.: ил.
2. **V.F. Kirichenko.** Improving methods for synchronizing generators // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2023) : proc., Novosibirsk, 29 June — 3 July 2023.

*Р.С. Горохов, С.В. Котельников, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЯ 0,4 КВ НА СИНУСОИДАЛЬНОСТЬ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

В данный момент, выпрямительная техника и полупроводниковые элементы становятся наиболее актуальным направлением развития силовой электроники. Установка этих электроприемников в электрических сетях оказывает негативное влияние на качество электроэнергии [1]. Целью исследования была оценка влияния выпрямительного устройства на питающую сеть 0,4 кВ. Для достижения поставленной цели была разработана расчетная модель выпрямителя 0,4 кВ и питающая цепь 0,4 кВ в программном комплексе SimInTech.

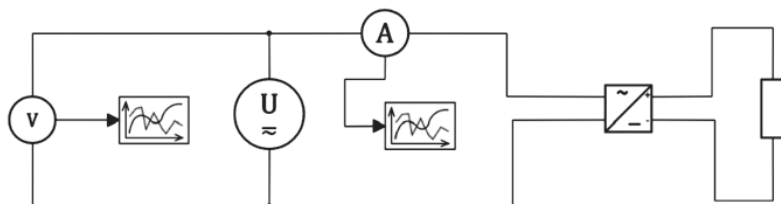


Рис. 1. Расчетная модель выпрямителя

Параметры схемы: U сети: 0,4 кВ; внутреннее сопротивление диода: 0,01 Ом; пороговое напряжение открытия диода: 0,7 В; фильтр: $C=0,01$ Ф; $L=0,01$ Гн.

В ходе проведения исследования было установлено, что большое влияние на форму напряжения оказывает фильтр. При рассмотрении фильтров C , L и LC типов были получены графики мгновенного значения напряжения сети.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- амплитуда сигнала при использовании фильтров типа C и L на 40% больше амплитуды сигнала при использовании LC фильтра
- при использовании фильтра типа L форма электричества в сети получается наиболее приближенной в синусоиде, следовательно, использование фильтров типа L в сетях 0,4 кВ наиболее предпочтительно.

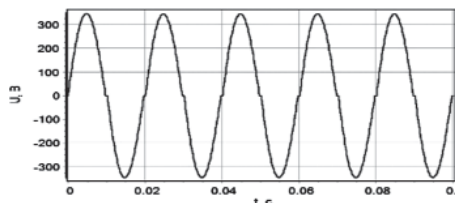


Рис. 2. Форма напряжения при L -фильтре

Литература

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р. Управление качеством электроэнергии: Издательский дом МЭИ, 2017.

Д.В. Корнилович, асп.;
рук. Ю.В. Казанцев, к.т.н, доц. (НГТУ, Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ

Проблема распределения нагрузки между гидроагрегатами гидроэлектростанций (ГЭС) является актуальной задачей из-за нелинейности характеристик гидротурбины [1] и индивидуальных особенностей энергоблоков, условия эксплуатации которых зачастую различны. Необходимо брать во внимание самые передовые методы оптимизации, учитывающие нелинейность характеристики турбины. Методы также должны учитывать строгие ограничения на условия эксплуатации энергетического оборудования при поиске экстремума целевой функции, указанной в форме равенств и неравенств. При решении вышеупомянутой задачи оптимизации накладываются ограничения на вычислительные мощности автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП), которые должны работать в режиме реального времени [2]. Для решения задачи оптимизации был проанализирован метод внутренней точки, а метод множителей Лагранжа был модифицирован так, чтобы он мог минимизировать расход турбины и потери активной энергии в обмотках электрогенераторов и трансформаторов. В статье представлены результаты моделирования разработанных алгоритмов оптимизации и результаты натурных испытаний системы автоматического управления выработкой [3], использующей описанные алгоритмы. Все проведенные испытания показали достаточно высокую эффективность предложенных методов оптимизации в условиях реальной эксплуатации.

Литература

1. **С.В. Юрченко.** Система группового регулирования активной мощности гидроагрегатов // Современная техника и технологии. 2017. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.snauka.ru/2017/03/12947> (дата обращения: 28.11.2022).
2. **D. Tiomo, R. Wamkeue.** Dynamic Modeling and Analysis of a Micro Hydro Power Plant for Microgrid Applications // IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2019.
3. **A. Khalyasmaa; S. Eroshenko; A. Arestova; S. Mitrofanov; A. Rusina; A. Kolesnikov.** Integrating GIS technologies in hydro power plant cascade simulation model. E3S Web Conf. 2020, 191, 02006.

Секция 58
СЕКЦИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА
Б.К. МАКСИМОВА
«ЭЛЕКТРОФИЗИКА И СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ»
Electrophysics and control systems of electric
power engineering objects

Председатель секции: к.т.н., доцент Арцишевский Ян Леонардович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Орлов Александр Васильевич

При поддержке

*Центра НТИ "Технологии транспортировки
электроэнергии и распределенных
интеллектуальных энергосистем"*



**ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ
на базе НИУ "МЭИ"**

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

А.А. Пахмутова, студ.;
рук. Д.О. Благоразумов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ РЗА ШИН

Для обеспечения устойчивой работы электроэнергетических систем, а также надежности и живучести объектов электроэнергетики необходимо оснащение объектов электроэнергетики устройствами релейной защиты и автоматики (далее РЗА). Работа устройств РЗА регламентируется различными нормативно-правовыми документами, при этом требования к устройствам РЗА в зависимости от эксплуатирующей организации объекта электроэнергетики могут отличаться. По этой причине возникает необходимость в анализе, систематизации и упорядочивании данных требований.

С целью развития нормативно-правовых актов, был проведен анализ существующих требований к устройствам, содержащим функцию УРОВ сборных шин, приведенных в нормативно-правовых актах, утвержденных Министерством Российской Федерации [1], и в стандартах организации ПАО «ФСК ЕЭС» [2]. Также были проанализированы руководства по эксплуатации соответствующих устройств РЗА производителей ООО НПП «ЭКРА», ООО «Релематика» [3] и справочное пособие «Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях» [4].

В результате проделанной работы были сформулированы функциональные требования к устройствам резервирования отказа выключателя (УРОВ) сборных шин:

- к пусковым органам по току;
- к логике срабатывания.

Литература

1. **Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. №101** «Об утверждении требований к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики».
2. **СТО 56947007-29.120.70.241-2017** «Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА».
3. **Терминал защиты шин 6-750 кВ и УРОВ типа «ТОР 300 ДЗШ 5ХХ»** Руководство по эксплуатации. Описание функций защит АИПБ.656122.011-010 РЭ2 v21.2.
4. **Рубинчик В.А.** Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях. Энергоатомиздат, 1985 — 120 с.

*Е.М. Исаков, Д.В. Пискунов, студенты;
рук. Г.А. Филатова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6 КВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Цифровой измерительный трансформатор тока и напряжения (ЦТТН), как источник информации для средств коммерческого учета электроэнергии, релейной защиты, устройств контроля режимных параметров, является ключевым элементом цифровой подстанции.

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) совместно с индустриальными партнерами разработаны ЦТТН различных классов напряжений — 6 (10) кВ; 35 кВ; 110 кВ. Однако некоторые области применения ЦТТН и отработка технологий построения систем автоматизации на их основе требует дополнительных испытаний. В частности, не в полной мере проведены исследования работы ЦТТН в условиях однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях 6(10) кВ и его использования в качестве источника сигнала для устройств защиты от ОЗЗ.

Разработана экспериментальная установка для исследования работы ЦТТН в режиме ОЗЗ, с использованием программно-аппаратного комплекса моделирования в режиме реального времени RTDS [1]. В среде RSCAD моделировались однократные ОЗЗ и дуговые перемежающиеся по известным теориям [2]. Показано, что ЦТТН 6 кВ устойчив к воздействию перенапряжений при дуговых ОЗЗ (пиковые значения до 18 кВ) и не вносит искажений в сигнал.

Следующим этапом работ стало подключение к ЦТТН устройств цифровой релейной защиты от ОЗЗ, имеющих на полигоне «Цифровая подстанция». Было получено, что в некоторых случаях дуговых замыканий исследуемая токовая защита от ОЗЗ не срабатывает, что было обусловлено особенностями переходного процесса при ОЗЗ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00084, <https://rscf.ru/project/23-29-00084/>.

Литература

1. **Filatova G.** Development of a 10 kV Grid Model for the Research Methodology of Digital Instrument Transformers in the Conditions of Arc Intermittent Single-Phase Earth Faults / G. Filatova, O. Dobryagina, S. Litvinov // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation. — 2023. — Pp. 716–720, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272700.
2. **Лихачев Ф.А.** Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия. — 1971. — 152 с.

*А.Е. Евдаков, рук. отдела ООО «АПС».;
рук. Г.А. Филатова, к.т.н., А.А. Яблоков, к.т.н. (ИГЭУ, г Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАТУШЕК РОГОВСКОГО ДЛЯ УСТРОЙСТВ БАВР

В настоящее время широкое распространение получили устройства быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР). Время реакции алгоритма БАВР составляет порядка $4\div 10$ мс, в следствии чего, для них критичен характер поведения различных измерительных органов в переходных режимах, например, реле направления мощности (РНМ).

На большинстве подстанций используются трансформаторы тока (ТТ) с ферромагнитным сердечником, которые сложны в установке (имеют неразъемную конструкцию и большие массогабаритные показатели) и могут иметь большую погрешность преобразования в переходных режимах, в том числе, вследствие насыщения их магнитопровода. Поэтому стали применяться иные датчики тока, например — катушки Роговского (КР), которые и рассматриваются в данной работе в качестве источника сигнала для РНМ БАВР.

Проведено аналитическое сравнение протекания переходного процесса при коротком замыкании (КЗ) для идеальных ТТ (без насыщения) и КР, с применением программного комплекса Matlab. Приведена численная оценка времени протекания переходного процесса, при различных параметрах КЗ. Рассчитано время наступления установившегося режима (УР), начиная с которого отклонение по амплитуде составляет менее 1%, а отклонение по углу — менее 1° . Была также оценена колебательность процесса (рис. 1, а). Во всех проведенных вычислительных экспериментах время наступления УР для КР было существенно меньше, либо не отличалось от ТТ. Это позволяет повысить устойчивость функционирования различных органов, например, в РНМ, при применении КР (рис. 1, б).

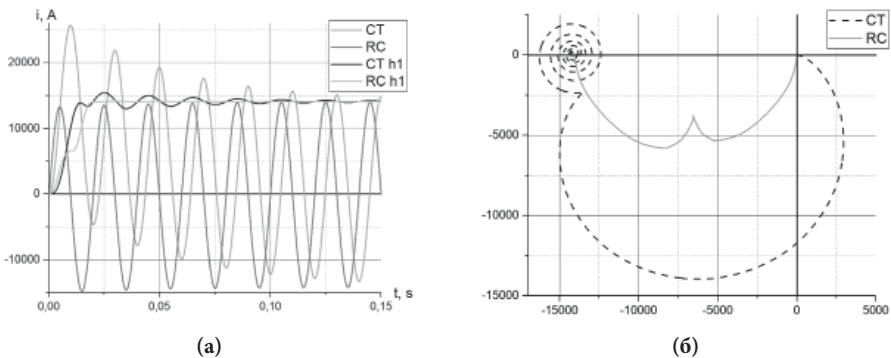


Рис. 1. Графики переходного процесса для ТТ(CT) и КР (RC). (а) мгновенные значения и амплитуда первой гармоники (h1), (б) годограф векторов h1

Асгат Асан уулу, асп.;

рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф. (КГТУ им. И. Раззакова)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ К МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В данной статье представлено применение нейронной сети для моделирования закономерностей распределения электростатического поля. Нейронные сети предлагают захватывающие преимущества, такие как обучение, адаптация, отказоустойчивость, параллелизм и обобщение, но их называют черным ящиком. Это затрудняет интерпретацию этих весов из-за их сложной природы. Он также страдает от медленной сходимости, локальных минимумов и плохой понятности. Ограничения отдельных систем были основной движущей силой создания интеллектуальных гибридных систем, в которых два или более метода объединяются таким образом, чтобы преодолеть ограничения отдельных методов [1].

Были использованы современные методы использования системы сбора данных (DAQ), сопряженной с современным измерителем электростатического поля. Данные собирались с помощью прямых измерений (март 2021 г. — май 2023 г.) на подстанции 220/110/10 кВ «Давыдова» и на открытом распределительном устройстве (ОРУ) 500 кВ Токтогульской ГЭС. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) использовался для преобразования аналогового выхода измерителя поля в цифровой для обработки системой сбора данных. С помощью системы сбора данных измеренная напряженность электрического поля может отслеживаться в компьютерной системе наряду с измерением времени, а соответствующие собранные данные регистрируются и позже экспортируются в Microsoft Excel для дальнейшего графического анализа записанных данных.

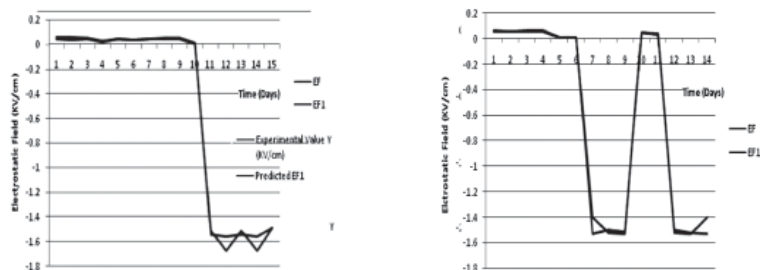


Рис. 1. Модельный график электростатического поля

Точность 20% означает близость прогноза к ожидаемому результату. Доверительный интервал 95% соответствует диапазону [целевое значение \pm доверительный интервал], в пределах которого прогнозируемый результат достигается с учетом указанной степени достоверности.

Литература

1. Б. Нэт, «Эволюционные и нейронные вычисления», *bnath@csse.unimelb.edu.au*, Мельбурнский университет, информатика и разработка программного обеспечения, 2 семестр, 2007 г., стр. 433–679.

З.Д. Остахов, студ.; А.Г. Темников, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ И РАЗРЯДОВ МОЛНИИ НА БПЛА

В настоящее время во многих отраслях нашли широкое применение беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Вследствие этого необходимо исследовать воздействия грозовых облаков, чтобы обеспечить бесперебойную работу в плохих метеорологических условиях. Для повышения надежности работы БПЛА необходимо разработать специальные защитные системы, которые смогут защитить от воздействия разрядов молний и минимизировать возможные повреждения.

Исследование проводится на экспериментальном комплексе «Гроза» [1], благодаря которому можно создавать искусственные грозовые ячейки потенциалом до 1,3 МВ. В работе представляются результаты исследования воздействия разрядов из искусственных грозовых ячеек отрицательной полярности на беспилотный летательный аппарат, размещенный в промежутке «искусственная грозовая ячейка — стержень на заземленной плоскости». В качестве исследуемого БПЛА выступил квадрокоптер. Регистрация мест попадания разрядов производилась видеокамерой.

Результаты обработки 34 экспериментальных подходов, при которых всего был зафиксирован 241 удар «молнии», обобщены в таблице 1.

Таблица 1. Места ударов «молнии» из искусственной грозовой ячейки

Места ударов	Лопасты БПЛА	Корпус БПЛА	Стержень
Число ударов	149	9	83

Исследования показали, что почти две трети (65,56%) разрядов из грозовой ячейки поражали БПЛА, а не расположенный рядом более высокий заземленный стержневой электрод. При этом при ударах «молнии» в модель БПЛА более 94% разрядов попадали в лопасти квадрокоптера. В центральную часть БПЛА (корпус квадрокоптера) пришлось всего лишь 9 ударов из 241. Скорее всего, это связано с нахождением под лопастями компактных электродвигателей квадрокоптера, который в целом выполнен из полимерных материалов. В результате исследования также выявлено, что большее количество разрядов приходилось на более удаленные от стержневого электрода лопасти квадрокоптера.

Литература

1. **Temnikov A.G.** Using of artificial clouds of charged water aerosol for investigations of physics of lightning and lightning protection.: IEEE Conference Publications: Lightning Protection (ICLP), 2012 International Conference on, 2012.

С.В. Гуцин, асп.;

рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

При оценке электрической прочности изоляции высоковольтного оборудования в соответствии с нормативными документами [1] при обработке экспериментальных результатов испытаний используется нормальное (Гауссово) распределение. В настоящее время разработаны и применяются новые методики, основанные на отличных от нормального распределения законах и показавшие хорошие результаты, например, при определении надежности, прогнозировании числа отказов, длительности работы электрооборудования, а также при моделировании электрофизических процессов и др.

В работе выполнен анализ применения различных законов распределения для оценки технического состояния изоляции электрооборудования высокого напряжения. Преимуществом нормального закона распределения является простота обработки данных эксперимента, но при этом в результате суммирования возникают погрешности в оценке испытаний изоляции, а также метод не применим для системы малой выборки данных, что имеет место при испытаниях масляной изоляции на электрическую прочность. Показательное распределение имеет один параметр, что является его преимуществом, но при этом не учитывается постепенное изменение параметров. Распределение Пуассона позволяет определить вероятность события в определенный момент времени без учета событий, наступивших в предыдущий период, недостатком является то, что при неограниченном увеличении числа событий, метод будет предельным. Распределение Вейбулла является гибким и способно учитывать различные факторы, влияющие на электрическую прочность, при этом распределение отвечает физическому смыслу и нашло широкое применение для оценки технического состояния изоляции электрооборудования, но оно не содержит в явном виде характеристики распределения, что вызывает определенные трудности.

Все исследуемые законы распределения имеют свои достоинства и недостатки, и в дальнейшем могут быть применены в разработке новых методов оценки технического состояния изоляции высоковольтного оборудования.

Литература

1. **ГОСТ 1516.2-97.** Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжении 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.

А.Э. Сергеева, студ.;
рук. А.Г. Темников, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕСТНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАВНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Разряды молний являются распространённым природным явлением. Тем не менее их последствия до сих пор приводят к необходимости компенсировать материальный ущерб, так как удары в оборудование приводят к его поломке, несмотря на наличие статистики по среднегодовой продолжительности гроз на районированной карте. При прогнозировании и предотвращении риска поражения током молнии понимание зависимостей между орографическими особенностями и характеристиками тока главной стадии разряда имеет практическое значение.

Исследования в данной области проводились группой учёных в Китае, на Камчатке, исследовалось электрическое состояние приземного слоя в горных ландшафтах Хакасии и республики Бурятия. Первые результаты физического моделирования влияния рельефа местности на параметры тока главного разряда получены на экспериментальном комплексе «Гроза» [1] для двух случаев: исследуемые модели стержневых электродов располагались вблизи границ грозового облака и вблизи поверхности земли.

Таблица 1. Параметры тока стадии главного разряда

Измеренные величины	Средние значения и диапазон измеренных величин	
	Лидерные разряды, возникшие вблизи поверхности земли	Лидерные разряды, возникшие вблизи границ облака
Амплитуда тока главного разряда, I_m , А	11,7 (4,2–28,9)	4,9 (4,2–5,3)
Продолжительность стадии главного разряда, T_m , мкс	4,35 (0,4–11,6)	3,4 (2,23–6,25)
Заряд аэрозольного облака, нейтрализованный на стадии главного разряда, Q_n , мкКл	5,26 (2,0–11,59)	5,76 (2,49–8,21)

Полученные данные свидетельствуют о том, что лидерные разряды, возникшие вблизи поверхности земли, в среднем имеют большие показатели по амплитуде, продолжительности и нейтрализованному заряду для главной стадии.

Литература

1. **Temnikov A.G., Orlov A.V.** Investigation of the development of streamer and leader discharges inside the artificially charged aerosol cloud: Proceedings, 26th Inter. Conf. on Lightning Protection, Cracow, Poland, 2002, Vol. 1.

*Н.А. Иванов, С.П. Васильев, аспиранты;
рук. О.О. Хамисов, к.т.н., доц. (Сколтех, Москва)*

ПЕРЕОСМЫСЛЕНИЕ РЗА: РОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Интеграция оптических трансформаторов тока (ОТТ) в энергосистемы представляет собой значительный технологический прогресс, особенно в контексте систем релейной защиты и автоматики (РЗА). ОТТ характеризуются своим иммунитетом к эффектам насыщения — ограничению, свойственному традиционным электромагнитным трансформаторам тока (ЭМТТ) [1]. Целью данного исследования является изучение влияния ОТТ на работу алгоритмов РЗА во время переходных событий, таких как короткие замыкания (КЗ).

В этом исследовании предлагается процедура поиска оптимальных уставок в сценариях, где вместо ЭМТТ используются ОТТ. Основная предпосылка заключается в том, что отсутствие насыщения в ОТТ позволяет более точно воспроизводить ток. Это требует переоценки существующих алгоритмов расчета уставок ввиду того, что существующие алгоритмы, исторически разработанные с учетом возможности насыщения ЭМТТ, могут не оптимально использовать возможности ОТТ. Для решения этой задачи, был использован подход, сочетающий теоретический анализ с практическим моделированием. Подход заключался в разработке итерационной процедуры на основе Python для анализа различных сценариев КЗ в системе дифференциальной защиты линии, подключенной как к ОТТ, так и к ЭМТТ. В ходе исследования были проведены различные тесты, включая моделирование внутренних и внешних КЗ, для определения оптимальных уставок. Проверка результатов была выполнена с применением программного комплекса PSCAD.

Таким образом, результаты моделирования предоставили убедительные доказательства того, что замена ЭМТТ на ОТТ в системах РЗА значительно повышает их скорость работы, чувствительность и общую надежность, исключая ложные срабатывания. Эти результаты подчеркивают необходимость сдвига парадигмы в разработке и реализации систем РЗА путем адаптации традиционных алгоритмов и методик расчета уставок при применении ОТТ для создания более надежных систем защит энергетических систем.

Литература

1. **Ivanov, Nikolay, Ruslan Kanafeev, and Vladimir Terzija.** “Impact of Electromagnetic and Optical CTs on Transformer Differential Protection during Transformer Re-energization.” 2023 IEEE Belgrade PowerTech. IEEE, 2023.

*О.И. Коржова, Д.В. Яковлев, студенты;
рук. В.В. Воеводин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАРБИД-КРЕМНИЕВЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ

В настоящее время высоковольтные, рассчитанные на напряжение свыше 1000 В, МОП-транзисторы, также называемые полевыми транзисторами с изолированным затвором или транзисторами со структурой Металл Оксид Полупроводник, нашли широкое применение в следующих областях: в преобразователях частоты для электротехнологических установок; в конструкции импульсных источников питания высокой частоты [1]; в устройствах инверторного преобразования. На данный момент в высоковольтных источниках напряжения активно начинают применяться транзисторы на основе карбида кремния (SiC), так как они характеризуются рядом преимуществ: возможностью быстрого переключения, снижающей потери и повышающей эффективность работы устройства; повышенной надежностью; высокой теплопроводностью; высокой пробивной напряженностью электрического поля материала полупроводника. Это делает их применение перспективным в условиях эксплуатации при высоких температурах, частотах, мощностях и высоких напряжениях сток-исток [2].

В ходе работы проводились испытания высоковольтных ($U_{си} = 1200$ В) SiC МОП транзисторов N-канального типа с индуцированным каналом фирмы Tokmas, вышедших на российский рынок взамен иностранных аналогов, для их дальнейшего применения в источниках питания разряда. Исследовались переходные характеристики транзисторов, измерялись напряжение пробоя между коллектором и эмиттером, рассеиваемая мощность и паразитные емкости. Проведено сравнение полученных данных с заявленными производителем, а также с результатами аналитического расчета и сделан вывод об удовлетворительном согласии параметров.

Литература

1. **С.И. Мошкунов, В.Ю. Хомич, Е.А. Шершунова.** “Высоковольтный импульсный источник для питания холодных плазменных струй”, Письма в ЖТФ, 45:3 (2019), 34–36;
2. **И. Конюшенко.** Основы устройства и применения силовых МОП-транзисторов (MOSFET). Силовая электроника. — 2011 — № 2.

Г.П. Паимцев, студ.; рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

В настоящее время основной объем информации передается по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС). Однако увеличение их пропускной способности выявило проблему чувствительности таких линий к воздействию атмосферного электричества [1]. Данная работа посвящена исследованию процессов, которые определяют особенности и степень воздействия грозových облаков на современные линии связи и приводят к снижению скорости передачи данных, либо их потере.

Для физического моделирования атмосферного электричества использовалась установка «ГРОЗА» [2]. На заземленной плоскости под искусственным грозowym облаком располагался полностью диэлектрический волоконно-оптический кабель длиной 50 м. Было выполнено две серии экспериментов. В первом случае оптический кабель был уложен петлей вокруг электрода, поражаемого разрядом из искусственного грозowego облака. Во втором случае оптический кабель был проложен в виде прямого отрезка рядом с электродом. По оптическому кабелю с помощью лазерного диода передавался непрерывный сигнал. Другой конец кабеля был подключен к измерителю оптической мощности.

В ходе исследований, в обеих сериях экспериментов наблюдалось изменение мощности оптического сигнала, как при разрядах из искусственного грозowego облака, так и при изменении потенциала самого облака. Отклонение измеряемой мощности сигнала от изначально выставленного уровня связано с изменением угла поляризации передаваемого по кабелю излучения.

Таким образом было показано, что не только близкие разряды молний, но и электрическое поле самого грозowego облака может влиять на передаваемый по ВОЛС сигнал.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10223, <https://rscf.ru/project/23-79-10223/>

Литература

1. **P.M. Krummrich, D. Ronnenberg, W. Schairer, D. Wienold.** “Demanding response time requirements on coherent receivers due to fast polarization rotations caused by lightning events”, *Optics Express*. vol. 11, pp. 12442–12457, 2016.
2. **N. Lysov, A. Temnikov, L. Chernensky, A. Orlov, O. Belova, T. Kivshar, D. Kovaley, V. Voevodin.** “Artificial Negative Polarity Thunderstorm Cell Modeling of Nearby Incomplete Upward Discharges’ Influence on Elements of Monitoring Systems for Air Transmission Lines”. *Energies* (2021) 14, 7100.

В.М. Седых, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ОЗОНАТОРОВ

В современных условиях во всем мире растет потребность в озоне, как сырье для экологически безопасных и высокоэффективных технологических процессов. На сегодняшний день единственным промышленным способом его получения является синтез в барьерном разряде.

Генератор озона представляет из себя специальную нагрузку, изменяющуюся четыре раза за период: дважды из чисто емкостной в емкостно-омическую и обратно (рис. 1). Сегодня в большинстве озонаторов используются резонансные источники питания, одним из недостатков которых является сложность регулировки выходной мощности за счет изменения частоты (рис. 2).

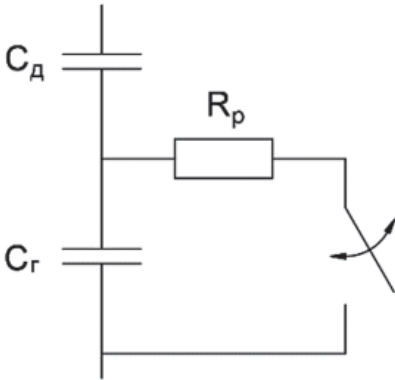


Рис. 1. Эквивалентная схема генератора озона

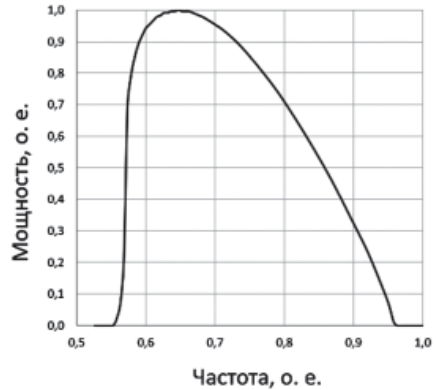


Рис. 2. Влияние изменения частоты на мощность источника питания

Цель работы — моделирование работы высокочастотного, резонансного, регулируемого источника питания для генератора озона, основанного на барьерном разряде. Средой для конструирования модели стал MATLAB Simulink.

В ходе работы была разработана и создана универсальная модель озонатора, а также предложен ряд подходов к регулированию выходной мощности: с помощью изменения частоты, использования широтно-импульсной модуляции и пакетов питающего напряжения.

Литература

1. Лунин В.В. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов / В.В. Лунин, Н.В. Карягин, С.Н. Ткаченко, В.Г. Самойлович. — М.: МАКС Пресс, 2008. — 216 с. — ISBN 978-5-317-02385-0.

С.Н. Хаустов, М.А. Чичигин, студенты;
рук. А.В. Орлов, к.т.н., доц.,
Д.В. Голубев, инженер ЦМС НТИ (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ, ИНДУЦИРУЕМЫХ РАЗРЯДАМИ ИЗ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОГО ИСКУССТВЕННОГО ГРОЗОВОГО ОБЛАКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ШАРОВЫХ НАВЕРШИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА

В работе произведён анализ результатов обработки экспериментов на экспериментальном комплексе «ГРОЗА», в ходе которых создавались отрицательно заряженные искусственные грозовые облака, с которых происходили разряды на стержневой измерительный электрод с шарообразным навершием, чей радиус менялся в ходе эксперимента. Зависимость амплитуды тока на плоской антенне, фиксирующей сигнал разряда, от амплитуды тока на электроде с диаметром навершия 40 мм показана в виде точечного графика на рисунке 1. Полученные результаты помогут лучше понять природу разрядов молнии, усовершенствовать методы молниезащиты и электромагнитной совместимости.

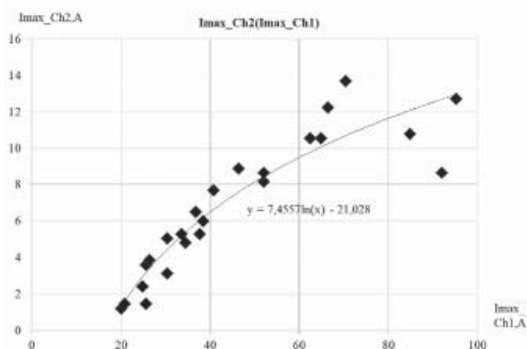


Рис. 1. Зависимость амплитуды тока на антенне от амплитуды тока на электроде

Литература

1. Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем — М.: Энергия, 1974.

С.Н. Хаустов, М.А. Чичигин, студенты;
 рук. А.В. Орлов, к.т.н., доц.,
 Д.В. Голубев, инженер ЦМС НТИ (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ, ИНДУЦИРУЕМЫХ РАЗРЯДАМИ ИЗ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ ПРИ НАЛИЧИИ ГИДРОМЕТЕОРОВ

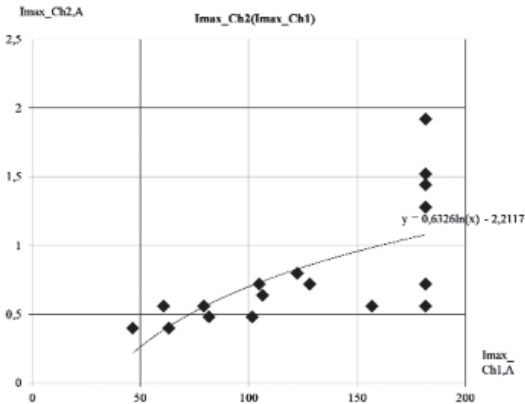


Рис. 1. Зависимость амплитуды тока на антенне от амплитуды тока на электроде

гидрометеоры. На рисунке 1, представлен один из результатов работы: показана зависимость амплитуды тока на антенне от амплитуды тока на электроде. Полученные результаты могут быть использованы в проектировании защиты от негативных воздействий грозовых электрических разрядов.

Использованная в работе экспериментальная установка «ГРОЗА» позволяет создавать положительно заряженные аэрозольные образования, с которых, в проведённом эксперименте, происходили электрические разряды на измерительный электрод с шарообразным навершием, также сигнал разряда регистрировался на плоской антенне. В промежутке между электродом и верхней границей заряженного облака размещались 4 проводящих эллипсоида, моделирующих

Литература

1. Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем — М.: Энергия, 1974.

М.А. Бухтилова, студ.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА (ОБЗОР)

Санитарно-эпидемиологические исследования среди персонала подстанций и воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения (ВН) 220÷500 кВ [1], показали, что люди, работавшие на подстанциях 500 кВ, испытывали повышенную утомляемость, вялость и сонливость, жаловались на головные боли.

Основную угрозу человеческому организму несет влияние токов, наведенных электромагнитными полями (ЭМП) промышленной частоты (ПЧ) [2]. Например, в статье [3] выяснено, что наведенные потенциалы в организме человека являются помехами относительно потенциалов действия клеток нервной системы. Кратковременное нарушение работы нервной системы может нарушить режим работы всего организма, так как он управляется мозгом с помощью передачи информативных электрических потенциалов по нервной системе.

Также воздействие магнитных полей (МП) на человека связано с выработкой во время сна жизненно важного гормона мелатонина — вещества, подавляющего развитие раковых клеток. На клеточном уровне показано, что добавка мелатонина в физиологический раствор замедляет размножение раковых клеток молочной железы. При наложении переменного МП напряженностью около 1 А/м этот эффект исчезает [4].

Таким образом, возникает задача ограничения вредного и опасного воздействия МП. Дальнейшее исследование будет посвящено разработке и оценке эффективности инструментов для ограничения воздействия МП.

Литература

1. **Токарский А.Ю.** Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. Специальность 05.14.02 — Электрические станции и электроэнергетические системы. — Иваново, 2011.
2. **Колечицкий Е.С., Романов В.А., Каргашев В.Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов / Е.С. Колечицкий, В.А. Романов, В.Г. Каргашев — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. **Шубина Л.А., Реутова А.В.** О необходимости защиты от электромагнитного излучения промышленной частоты // Материалы: конкурс научно-исследовательских работ. Молодежная программа 24-ой международной специализированной онлайн выставки «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2020. — М: Издательство: Ассоциация «СИЗ», 2020. С. 117–121.
4. Электромагнитная совместимость и молниезащита в современной электроэнергетике: учебное пособие / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов [и др.]. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: НИУ МЭИ, 2018.

А.Д. Стулов, асп.;

рук. А.В. Котенев, к.т.н., доцент (ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара)

ДВУХКОНТУРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ограничения на потребление реактивной мощности, наложенные на потребителей электрической энергии, связанные с техническими особенностями их системы электроснабжения (СЭС) и действующими законодательными актами, подразумевающими введение штрафных санкций за превышение величины коэффициента реактивной мощности ($tg\varphi_V$) вынуждают использовать системы автоматического управления величиной $tg\varphi_V$. Для обеспечения требуемых значений величины $tg\varphi_V$ в часы больших и малых суточных нагрузок на стороне высшего напряжения трансформаторной подстанции предполагается использовать систему стабилизации величины $tg\varphi_V$. Предложена структура двухконтурной системы автоматического управления, где объектом управления является СЭС промышленного предприятия с синхронным электроприводом [1], внутренним контуром стабилизации тока возбуждения и внешним контуром стабилизации коэффициента реактивной мощности (рис. 1). Данная система позволяет привести значение $tg\varphi_V$ к установленным показателям в условиях переменных больших и малых суточных нагрузок

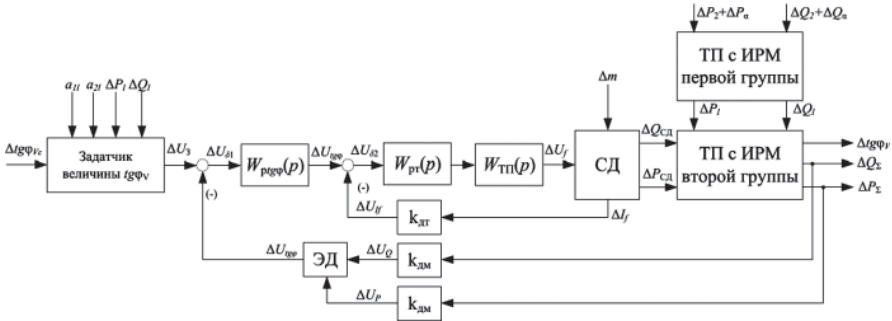


Рис. 1. Структура математической модели САУ КРМ

Использование двухконтурной системы позволяет ограничить величину тока возбуждения, а регуляторы, при идентичных показателях качества регулирования, имеют более простую структуру, в сравнении с одноконтурной системой.

Литература

1. A.V. Kotenev, A.D. Stulov, "A Power Supply System for an Industrial Facility with a Synchronous Electric Drive as a Reactive Power Factor Control Object," 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, 2023, pp. 177–181, doi: 10.1109/UralCon59258.2023.10291080.

П.К. Цепалин, студ.; рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА НА БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

В настоящее время широкое применение находят беспилотные летательные аппараты (БПЛА) различных типов.

Поскольку активное развитие БПЛА началось не так давно, еще не полностью изучено влияние погодных условий на надежность их функционирования.

Для исследования данного вопроса применяют как физическое, так и математическое моделирование. В [1] при исследовании БПЛА импульсными напряжениями сделан вывод о линейной зависимости уровня перенапряжений в цепях дрона от напряженности поля и об отсутствии зависимости между ориентацией дрона в пространстве и уровнем перенапряжений в его цепях. В [2] проведено исследование воздействия косвенного разряда молнии на модель БПЛА в программе электродинамического моделирования. Получено, что напряженность электрического поля во внутрифюзеляжном пространстве БПЛА достигает 37,2 кВ/м, а магнитного — 0,77 кА/м при горизонтальной поляризации.

В данной работе представлены результаты физического моделирования воздействия атмосферного электричества и молнии на БПЛА квадрокоптерного типа. Исследование проведено с помощью экспериментально-измерительного комплекса «ГРОЗА», который позволяет создавать искусственные грозовые облака, и получать разряды из них. Потенциал искусственного грозового облака достигал 1,2 МВ. При этом, распределение электрического поля под облаком близко к реальной грозовой ситуации.

Проведенные лабораторные испытания показали возможность дальнейшего всестороннего исследования работы БПЛА в грозовых условиях с помощью такого способа моделирования.

При анализе полученных экспериментальных данных было получено, что при разряде молнии электрическое поле вблизи дрона снижается, в среднем в 2,3 раза, вызывая сильное электромагнитное воздействие.

Литература

1. **Kossowski, T.; Szczupak, P.**, Laboratory Tests of the Resistance of an Unmanned Aerial Vehicle to the Normalized near Lightning Electrical Component. *Energies* 2023, 16, 4900.
2. **Гайнутдинов Р.Р.** Электромагнитная стойкость беспилотного летательного аппарата при косвенном воздействии разряда молнии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2017. № 4. С. 177–188.

*Д.В. Яковлев, О.И. Коржова, студенты;
рук. В.В. Воеводин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА БАЗЕ КАРБИД-КРЕМНИЕМЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ

Одной из основных задач современной электроэнергетики является повышение эффективности преобразования электрической энергии. Активные выпрямители широко применяются для преобразования переменного тока в постоянный, но традиционные выпрямители на основе силовых полупроводниковых диодов имеют некоторые ограничения в отношении потерь мощности и энергетической эффективности. Использование карбида-кремниевых (SiC) МОП-транзисторов в качестве ключевых элементов высоковольтного активного выпрямителя позволяет значительно увеличить энергетическую эффективность системы. Карбид-кремниевые транзисторы имеют более высокое рабочее напряжение [1]. Изучение подобного выпрямителя поможет разработать активный выпрямитель, способный работать с высокими напряжениями, что может быть полезно в промышленности и энергетике.

Эффективность МОП-транзисторов обусловлена высокой рабочей частотой, возможностью быстрого переключения, что снижает потери и повышает эффективность работы устройства, повышенной надежностью работы, высокой теплопроводностью и высокой пробивной напряженностью электрического поля материала полупроводника. Это позволяет им обеспечивать более эффективную и надежную работу в сравнении с обычными кремниевыми транзисторами [2]. Однако, интеграция таких транзисторов в системы управления энергопотреблением требует тщательного изучения их характеристик.

Целью данного исследования является исследование характеристик МОП-транзисторов и определение эффективности и возможности применения в практических сферах выпрямителей на базе вышеупомянутых транзисторов.

Литература

1. **Роберт А. Пиз.** Практическая электроника аналоговых устройств. Серия «Учебник» — М.: 2001. — 301 с.
2. **И. Конюшенко.** Основы устройства и применения силовых МОП-транзисторов (MOSFET). Силовая электроника. — 2011 — № 2.

*Д.В. Ларионов, студ.; В.А. Соловьев, асп.;
рук. Е.Н. Колобродов, к.т.н, доцент.;
Л.С. Акулинин, студ. (НИУ «МЭИ»)*

РАБОТА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТТ С КЛАССОМ ТОЧНОСТИ ТРУ

Дифференциальная защита является основной защитой трансформатора (ДЗТ), которая отключает защищаемый объект при всех видах повреждений внутри защищаемой зоны без выдержки времени. Поэтому, учитывая принцип работы ДЗТ, для селективной работы является важным точность измерения трансформаторов тока (ТТ).

В нормальном режиме погрешность применяемых на практике ТТ класса точности Р не превышает допустимой. Однако, электромагнитные ТТ подвержены насыщению при КЗ. Это приводит к недопустимому увеличению погрешностей ТТ в переходных режимах [1]. При выборе РЗА на электроэнергетических объектах необходимым является сравнение времени правильной работы быстродействующих защит с временем до насыщения ТТ, применяемых на данных объектах [2]. Поэтому, в случае невозможности согласования ДЗТ и ТТ класса точности Р, имеет смысл рассмотреть применение ТТ класса точности ТРУ [3].

ТТ класса точности ТРУ имеют отличные от класса точности Р характеристики и вторичные токи. На данный момент в литературе отсутствует информация о влиянии таких факторов как характер нагрузки, ее уровень на погрешность и форму вторичного тока ТТ класса точности ТРУ. Отсюда вытекает необходимость рассмотрения совместной работы ДЗТ при применении ТТ класса точности ТРУ, для анализа ее работы и разработки рекомендаций к совместному применению. Поэтому в рамках данного доклада рассматриваются особенности применения трансформаторов тока класса точности ТРУ при работе с дифференциальной защитой силового трансформатора.

В докладе представлены результаты моделирования ТТ класса точности ТРУ, силового трансформатора и алгоритма дифференциальной защиты трансформатора, реализованные в системах PSCAD и SimInTech. Полученные результаты представляют собой рекомендации к применению ТТ класса точности ТРУ совместно с ДЗТ.

Литература

1. **Афанасьев В.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С.** Трансформаторы тока. Ленинград: Энергия, 1980.
2. **Приказ Минэнерго от 13 февраля 2019 г. N 101.**
3. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 283-2018. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока.

*Л.С. Акулинин, Д.В. Ларионов, студенты; В.А. Соловьев, асп.;
рук. Е.Н. Колобродов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАБОТА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТТ С КЛАССОМ ТОЧНОСТИ PR

В качестве основной быстродействующей защиты линии от коротких замыканий широкое распространение получила дифференциальная защита линии (ДЗЛ). Правильная работа ДЗЛ значительно зависит от погрешности трансформаторов тока (ТТ). Применяемые на практике ТТ класса точности R подвержены насыщению при КЗ, что может привести к неселективной работе ДЗЛ.

При выборе РЗА на электроэнергетических объектах необходимым является сравнение времени правильной работы быстродействующих защит с временем до насыщения ТТ, применяемых на данных объектах [2]. Поэтому, в случае невозможности согласования ДЗЛ и ТТ класса точности R, имеет смысл рассмотреть применение ТТ класса точности PR [3].

ТТ класса точности PR имеют отличные от класса точности R характеристики и вторичные токи. На данный момент в литературе отсутствует информация о влиянии таких факторов как характер нагрузки, ее уровень на погрешность и форму вторичного тока ТТ класса точности PR. Отсюда вытекает необходимость рассмотрения совместной работы ДЗЛ при применении ТТ класса точности PR, для анализа ее работы в условиях присущих линиям электропередачи 110 кВ и разработки рекомендаций к совместному применению. Поэтому в рамках данного доклада рассматриваются особенности применения трансформаторов тока класса точности PR при работе с дифференциальной защитой линии.

В докладе представлены результаты моделирования ТТ класса точности PR, линии электропередачи и алгоритма дифференциальной защиты линии, реализованные в системах PSCAD и SimInTech. Полученные результаты представляют собой рекомендации к применению ТТ класса точности PR совместно с ДЗЛ. Указанные результаты представляют практический интерес для разработчиков систем РЗА.

Литература

1. **Афанасьев В.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С.** Трансформаторы тока.
2. **Приказ Минэнерго от 13 февраля 2019 г. N 101.**
3. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 283-2018. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока.

*А.П. Агапкин, М.В. Бирюкова, Е.А. Петрова, студенты;
Д.С. Рыбин, асп.; рук. Е.Н. Колобродов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНАЯ ОТСТРОЙКА ОТ НАСЫЩЕНИЯ ТТ С ЗАМКНУТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Актуальные требования отрасли указывают на необходимость согласования времени до насыщения трансформаторов тока (ТТ) с минимальными требованиями к промежутку правильной трансформации со стороны быстродействующих защит. Согласование гарантирует селективность и чувствительность защит в начальный момент возникновения короткого замыкания (КЗ). Но при насыщении ТТ с замкнутым магнитопроводом существует риск глубокого насыщения, которое может привести к искажениям в измерениях тока и, как следствие, к проблемам с селективностью и чувствительностью защит. Замена на ТТ с немагнитным зазором классов точности PR, TPY, TPZ потенциально облегчает, но полностью не решает проблему. При этом также остро встает экономический фактор. Поэтому необходимо разрабатывать новые методы, которые обеспечат селективность и чувствительность быстродействующих защит в условиях глубокого насыщения ТТ.

Целью исследования является разработка способа обеспечения селективности быстродействующих защит при насыщении ТТ с замкнутым магнитопроводом и отсутствии промежутка правильной трансформации.

Дифференциально-фазная отстройка (ДФО) работает по принципу сравнения угла между векторами токов ТТ в двух точках замеров быстродействующих защит. ДФО вводится в работу при определении внешнего для защиты КЗ на промежутке правильной трансформации. Определение внешнего КЗ выполнено на дифференциальном принципе или принципе контроля уровней и фаз тока/сопротивления. При подтверждении со стороны ДФО наличия внешнего КЗ, действие защиты блокируется, в случае изменения внешнего КЗ на внутреннее блокировка снимется. За основу при реализации ДФО берется утверждение о том, что при максимальном уровне искажения сигналов из-за насыщения ТТ угловая погрешность не превышает 90° . Тогда угол между токами принимает значения от -90° до 90° при внутреннем КЗ и от 90° до 270° при внешнем.

Для проверки работоспособности алгоритм ДФО смоделирован в ПК PSCAD. По результатам исследования были сделаны выводы о работе ДФО в различных режимах работы сети для ДЗТ, ТЗНПН и ДЗ линии.

Литература

1. **Кужиков С.Л., Дегтярёв А.А., Дони Н.А., Шурупов А.А.** О проблеме выбора и замены трансформаторов тока для устройств релейной защиты. *Электромеханика*, Т. 63. № 6, 2020.

*И.Р. Тухфатуллин, студ.; Р.Г.Хузяшев, к.ф.-м.н., доц.
(ФГБОУ ВО “КГЭУ”, Казань)*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВОГО КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

При оценке характеристик комплексов волнового метода определения мест повреждения (ВМОМП) в распределительных линиях среднего класса напряжения важно сравнивать их частотные характеристики с аналогичными параметрами линий высокого класса напряжений.

Распространение сигнала переходного процесса в каждой фазе зависит от параметров режима соседних фаз, что объясняется существованием модальных каналов распространения [1]. Для трехфазной сети имеем три волновых канала: нулевой (земляной), первый, второй. Рассмотрены нулевой канал (контур “фазы” — “земля”) и первый канал (контур “средняя фаза” — “крайние фазы”) для модели трехфазной и однопроводной линий электропередач (ЛЭП) напряжением 10 и 220 кВ с помощью пакетов PSCAD и Matlab. Вычислены приращения фазовой скорости (м/мкс) и коэффициента затухания (дБ/км) при изменении параметров линии (X — межпроводное расстояние, Y — высота траверсы, d — диаметр проводов, R_3 — сопротивление грунта).

Таблица 1. Численные значения отношения приращений параметров канала к параметрам линии

Параметр линии (K_j)	dV_0/dK_j	dV_1/dK_j	$d\alpha_0/dK_j$	$d\alpha_1/dK_j$
$X, м$	-0,579	-0,426	0,329	0,139
$Y, м$	0,823	0,209	-0,381	-0,066
$d, мм$	-0,004	0,001	0,002	-0,0005
$R_3, Ом*м$	-0,133	-0,023	0,066	0,007

Показано, что: наибольшей информативной ценностью о начале СПП обладает первый волновой канал; коэффициент затухания в линии 10 кВ больше, а фазовая скорость в линии 10 кВ меньше; параметры распространения однопроводной линии хорошо описывают параметры распространения 0-й моды трехпроводной линии.

Литература

1. **Костенко М.В. и др.** Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. М., “Энергия”, 1973.

А.В. Галимова, асп. ;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ НА ПОЯВЛЕНИЕ СТРИМЕРНЫХ РАЗРЯДОВ В КОРОТКИХ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ

Стримерный разряд может использоваться для очистки воздуха от газообразных примесей [1], инактивации в нём бактерий [2] и т.п. В воздушной среде разрядных промежутков (РП) имеются аэрозольные частицы, локально усиливающие электрическое поле (ЭП). Такие усиления ЭП могут способствовать появлению стримерных разрядов в РП. В этом докладе предложена методика оценки реализации этой возможности.

Рассмотрим ЭП вблизи частицы, помещённой во внешнее однородное поле с напряжённостью $E_{вн}$. Ось Ox сонаправлена с вектором $E_{вн}$. Пусть $E_{вн}(x)$ — распределение напряжённости ЭП вдоль его центральной силовой линии [3], частица сферическая с радиусом R_0 и начало координат (т. O) находится в её центре. Максимальная напряжённость поля $E_{max}=E_{вн}(R_0)$ достигается на поверхности частицы, а граница зоны ионизации находится на расстоянии $L_{и}=X_{и}-R_0$. Здесь $X_{и}$ — точка, где равны коэффициенты ударной ионизации α и прилипания η , $\alpha_{эф}(X_{и})=\alpha(X_{и})-\eta(X_{и})=0$.

Условие самостоятельности в лавинной форме [3] выполняется, если

$$\int \alpha_{эф}(x) dx > K = \ln(1+1/\gamma),$$

где интегрирование выполняется от поверхности частицы ($x=R_0$) до границы зоны ионизации ($x=X_{и}$), γ — коэффициент вторичной ионизации.

В стримерной форме условие самостоятельности здесь реализовано так. Допущено, что для перехода электронной лавины в стример необходимо, чтобы при пересечении зоны ионизации в ней накопилось число электронов n_e не менее критического $n_{екр} \approx 10^8$ [3]. Тогда

$$n_e = \exp[\int \alpha_{эф}(x) dx] > n_{екр}$$

Пределы интегрирования те же самые, что и выше. Выполнение этого неравенства означает появление стримера вблизи аэрозольной частицы. Варьируя её параметры, можно оценить условия формирования стримеров.

Литература

1. **Filimonova E.A.** Formation of combustion wave in lean propane-air mixture with a non-uniform chemical reactivity initiated by nanosecond streamer discharges in the HCCI engine / E.A. Filimonova, A.S. Dobrovolskaya, A.N. Bocharov, V.A. Bityurin, G.V. Naidis // Combustion and Flame. 2020. Vol. 215. P. 401–416.
2. **Akter M.** Inactivation of Infectious Bacteria Using Nonthermal Biocompatible Plasma Cabinet Sterilizer / M. Akter, D.K. Yadav, S.H. Ki, E.H. Choi, I. Han // Int. J. Mol. Sci. 2020. Vol. 21. 8321.
3. **Бортник И.М.** Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. / И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; под ред. И.П. Верещагина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М: Издательство МЭИ, 2018.

Л.Р. Романов, асп.;

рук. О.В. Крюков, д.т.н. (ООО «ТСН-электро, Нижний Новгород)

ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В настоящее время в рамках Концепции Цифровой Трансформации 2030 активно внедряются цифровые технологии в системах электроснабжения, в том числе и системах релейной защиты, поэтому появляются дополнительные стимулы для замены изношенных электромеханических реле на современные микропроцессорные устройства релейной защиты (МП РЗА).

Еще одной тенденцией сопутствующей цифровизации является все большее распространение малой или распределенной генерации (РГ) в соответствии с указом [1], которая оказывает существенное влияние на примыкающие к ней электрические сети, увеличивая количество возможных режимов работы и ухудшая ее управляемость. К тому же внедрение новейших цифровых технологий в электроэнергетику приводит к усложнению сопутствующих ей систем и, как следствие, необходимости предъявления дополнительных и более жестких требований к системам МП РЗА, логике их работы и квалификации обслуживающего персонала для минимизации аварийных ситуаций [2].

Данная работа посвящена исследованию влияния цифровизации и других тенденций в электроэнергетике на системы релейной защиты. Основной же целью является изучение эффекта от применения различных комплексов имитационного математического моделирования РЗА в качестве способа снижения количества ошибок при проектировании, настройке и наладке систем МП РЗА. Как показывает статистика, на данные ошибки приходится порядка 15% от общего числа всех аварийных и ложных срабатываний устройств РЗА [3]. Для достижения цели работы был проведен анализ доступных программных решений в данной области, наиболее распространёнными являются программные комплексы АРМ СРЗА, *MATLAB Simulink*, *PSCAD*, *RSCAD* в связке с симулятором *RTDS*.

Литература

1. **Указ президента РФ** «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07.05.2018 г.
2. **Ипполитов В.А., Погодина С.А., Романов Л.Р., Еразумов М.И., Крюков О.В.** Подход к моделированию электротехнических комплексов релейной защиты и автоматики // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2023. — № 10(171).
3. **Ипполитов В.А., Погодина С.А., Романов Л.Р., Крюков О.В.** Способ диагностики электротехнических комплексов релейной защиты и автоматики цифровых подстанций // Автоматизация и ИТ в энергетике. — 2023. — № 8(169).

*А.С. Сорокин, асп.; А.И. Коваленко, ст. преп.;
рук. А.А. Лебедев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ПО ОГРАНИЧЕННОМУ НАБОРУ ДАННЫХ

Одной из задач повышения надежности работы объектов энергетики является проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по фактическому техническому состоянию, в рамках которых производится оценка технического состояния электрооборудования через расчёт интегрального показателя — индекса технического состояния (ИТС) [1].

Для расчета ИТС бакового элегазового выключателя класса напряжения 110 кВ необходимо произвести оценку 46 параметров [2]. Однако для оценки половины параметров элегазового выключателя необходимо выводить его из эксплуатации.

В данной работе предлагается решение, позволяющее определить ИТС выключателя автоматически, без участия человека на основе ограниченного набора данных, которые можно получать автоматически из автоматизированных систем диагностики и мониторинга.

В виду ограниченного числа параметров, получаемых с датчиков и систем мониторинга в реальном времени, возникает проблема ограниченности данных. Эта проблема решается с помощью применения методов машинного обучения (МО), определяющих зависимость между полным набором данных, полученным и занесенным в журналы персоналом в ходе эксплуатации и ограниченным, полученным с помощью автоматизированных систем.

В данной работе также была проведена оценка влияния параметров высоковольтного элегазового выключателя на значение ИТС, рассчитанного моделью МО, оценка самой модели и определены дальнейшие перспективы исследований.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 19 декабря 2016 г. № 1401** «О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей».
2. **Приказ Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 г. № 676** «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей».

*А.А. Иванов, аспирант; В.А. Домрачев,
Н.А. Чернышева, студенты;
рук. Е.А. Волошин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГРАММНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ АВТОМАТИКИ

В настоящее время основным способом повышения надежности систем управления является резервирование устройств, выполняющих эти функции, что приводит к росту капитальных затрат. Существующие подходы к цифровизации систем релейной защиты позволяют перейти от аппаратного резервирования устройств к резервированию функций автоматики без привязки к аппаратному обеспечению.

Один из способов реализации функционального резервирования — это использование каждым контроллером дополнительного вычислительного модуля для отслеживания состояния ПЛК и его параметров на основном вычислительном модуле. Устройства сбора информации используют тот же дополнительный модуль для изменения алгоритмов управления технологическим процессом. Через дополнительный вычислительный модуль в основном вычислительном модуле устройства сбора информации также происходит изменение таблицы сопоставления сигналов мониторинга и распределения функций автоматики между контроллерами управления, а также информационными моделями этих контроллеров.

При помощи ПАК «ЦДЭС» была произведена оценка качества работы данного технологического решения. ПАК «ЦДЭС» позволяет симулировать работу ЭЭС с управлением оборудования при помощи виртуальных ПЛК, которые связаны с дополнительным вычислительным модулем при помощи протокола MQTT.

В ПАК «ЦДЭС» была реализована схема, которая включает в себя БСК, управляемую ПЛК.

Алгоритм внедрения системы с дополнительным вычислительным модулем показал свою работоспособность, что говорит о целесообразности дальнейших исследований в направлении изучения переходных процессов в САУ и оптимизационных технологий.

Литература

1. Пак В.Е., Султанов Р.А., Якубова Е.Е., Тимохин Р.В., Лавренчук О.Э. Реактивная мощность и ее влияние на напряжение в электрической сети // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, 2019 г.
2. O'Dwyer A. PID compensation of time delayed processes 1998–2002: a survey // Proceedings of the American Control Conference, Denver, Colorado, 4–6 June 2003. P. 1494–1499.

Д.А. Вертогузов, студ.;
рук. В.Ф. Лачугин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящий момент в электроэнергетике существует тенденция развития распределенной генерации — большого количества источников малой мощности. Это приводит к определенным проблемам, которые необходимо учитывать при создании комплекса РЗА [1, 2].

В совокупности с традиционным подходом к расчету ступенчатых защит, возникают проблемы определения максимальных и минимальных режимов. Это может приводить к нарушению селективности или недостаточной чувствительности, в особенности для защит, использующих только один измеряемый параметр.

В текущий момент, наиболее логичным подходом к РЗ в распределительной сети является создание адаптивной системы РЗ — системы, способной в автоматическом режиме изменять параметры срабатывания в конечных устройствах РЗ в зависимости от текущего режима.

Необходимо заметить, что расчет параметров срабатывания в режиме реального времени может привести к недопустимой задержке на передачу в устройства РЗ. Важной составляющей адаптивной системы РЗ является предварительное прогнозирование и группировка режимов работы сети, а также определение параметров срабатывания для этих групп.

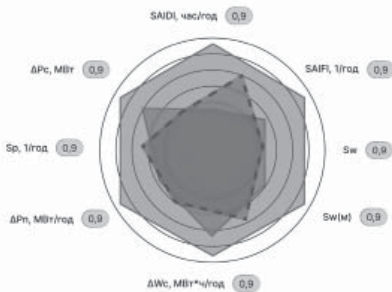
Формирование подхода к предварительному расчету групп параметров срабатывания и определению режима работы сети в реальном времени — необходимый этап в разработке адаптивных защит РЗ.

Литература

1. **Фишман В.П.** Построение систем РЗиА при наличии собственных источников электроэнергии у потребителей // *Новости электротехники.* — 2002. — № 6 (18) — с. 34–37.
2. **Илюшин П.В., Куликов А.Л.** Трансформация технических требований к устройствам РЗА в условиях массового внедрения распределенных источников энергии // *Электроэнергия. Передача и распределение.* — 2020. — № 2 (59). — с. 70–79.

*А.А. Иванов, асп.; В.А. Домрачев,
Н.А. Чернышева, студенты;
рук. Е.А. Волошин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МАЛАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА



Крайний север является преобладающей территорией Российской Федерации, где находится множество изолированных энергосистем, которые обладают высокими затратами для функционирования. На этих обширных территориях находится в эксплуатации более 12 тысяч дизельных электростанций с различной мощностью, которая колеблется от 100 кВт до 3,5 МВт. Средний объем дорогостоящего топлива,

поставка которого осуществляется в непродолжительный период летней навигации, варьируется от 360 до 480 тонн.

Для развития территорий Крайнего севера, обеспечения комфортного проживания местного населения и повышения привлекательности северных территорий, необходимо повысить надежность и качество электроснабжения. Не стоит забывать, что цена для столь критически важных ресурсов должна поддерживаться на приемлемом уровне, поскольку данные территории снабжают всю остальную часть страны такими ресурсами как: нефть, природный газ, уголь, золото, алмазы и многое другое.

В ходе данного исследования произведена оценка, при помощи ПАК «ЦДЭС», параметров надежности электрического снабжения Ненецкого автономного округа, которая показала низкое качество интегральных показателей SAIDI и SAIFI. При помощи встроенных средств ВРДО в ПАК «ЦДЭС» были выявлены способы повышения надежности электроэнергетической сети:

- 1) Внедрение в сеть автоматических коммутационных аппаратов;
- 2) Внедрение на подстанции устройства телеизмерений и телемеханизации.

Кроме того, можно предложить такую меру повышения надежности энерго- и теплоснабжения, как когенерацию при помощи двигателей Стирлинга. Такой подход позволит повысить надежность в таких условиях, когда погода не позволяет осуществлять северный завоз, поскольку топливом для двигателя Стирлинга может служить любой горючий материал.

Литература

1. **И.А. Башмаков.** Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России // Энергосбережение № 2 — 2017.

Г.С. Ли студ.; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВИ

На данный момент концепцией устойчивого развития электроэнергетики является «Цифровая трансформация 2030». Согласно её основным принципам необходимо достичь следующих целей:

- 1) повышение надежности электроснабжения потребителей;
- 2) обеспечение снижения потерь электроэнергии.

Так как силовой трансформатор является одним из основных элементов сети, необходимо иметь систему мониторинга и диагностики, которая позволит прогнозировать срок службы трансформатора и анализировать состояние изоляции обмоток, что в свою очередь может привести к увеличению срока службы, уменьшению время ремонтных работ и поможет определять дефекты.

Целью исследования является создание и исследование модели цифрового двойника силового трансформатора с использованием синхронизованных векторных измерений (СВИ).

Цифровой двойник — это аналог реального трансформатора, который моделирует и отображает его поведение. Данный цифровой двойник моделирует повреждения, связанные с обмотками, такие как: выгорание витковой изоляции и витковой обмотки, внутренние витковые замыкания и износ изоляции обмоток.

Модель принимает информацию СВИ со всех сторон трансформатора и выводит данные о состоянии трансформатора. Наличие метки времени у СВИ позволяет корректно соотносить токи и напряжения с разных сторон трансформатора.

Для оценки работы цифрового двойника необходимо использовать показатели быстродействия отслеживания характеристик реального трансформатора и погрешность результатов. В качестве рассматриваемых режимов были выбраны опыты холостого хода, короткого замыкания, а также внутренние межвитковые замыкания с различным количеством замкнутых обмоток.

По результатам, полученным при моделировании, делаются выводы о работе и использовании цифрового двойника.

Литература

1. Гун И.Г., Салганик В.М., Евдокимов С.А., Сарлыбаев А.А., Основные неисправности и методы диагностирования силовых трансформаторов в условиях эксплуатации.

*И.С. Резников, Д.В. Кукис, А.М. Балабанов, студенты;
Я.Е. Тепикин, асп.; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ

Оборудование электроэнергетической системы непрерывно подвергается электромагнитному, механическому, температурному воздействию, что в свою очередь оказывает влияние на показатели, характеризующие его исправность. В случае синхронного генератора (СГ), изменения одного или нескольких этих показателей могут привести к возникновению и развитию дефектов.

Исследуемым объектом является СГ. Обзор демонстрирует результаты по идентификации параметров модели СГ в процессе текущей эксплуатации по данным, снятым с помощью устройств синхронизированных векторных измерений (СВИ). Реальные физические и конструкционные характеристики СГ отражаются в виде параметров математической модели. Для каждой модели один и тот же генератор будет иметь разное математическое описание. Непрерывный мониторинг этих параметров позволит установить возникновение и развитие дефектов. Актуальной задачей для данной методики является разработка математической модели СГ, позволяющей провести анализ и прогноз возможных дефектов. Благодаря этому появляется возможность заранее, в доаварийном режиме работы, определить место, в котором возник дефект, оценить запас прочности, запланировать ремонт, что позволяет сократить издержки на вынужденный простой, последствия внутренних повреждений.

Существует несколько различных математических моделей для описания СГ, однако наиболее подходящей для задачи мониторинга с использованием данных СВИ является модель генератора в фазных координатах. Ее преимущества заключаются в возможности моделирования несимметрии обмоток статора.

В нашей статье была разработана модель СГ в фазных координатах. Верификация проводилась в установившемся и аварийных режимах. Установлены причины расхождений результатов.

Данная статья будет полезна для специалистов, занимающихся моделированием, верификацией и идентификацией параметров СГ.

Литература

1. **Глазырин Г.В.** Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора // Вестник Московского энергетического института. 2017. — № 5. С. 34–39.
2. **Ростик Г.В.** Оценка технического состояния турбогенераторов: Учебно-практ. пособие. М.: ИПКгосслужбы, 2008.
3. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. Л.: Наука, 1985.

Р.С. Бугаевский, студ.; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ УДАЛЕННЫХ ЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВИ

Энергетическая система (ЭС) — совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

В энергосистеме соблюдается баланс между производимой на электростанциях и потребляемой потребителями электрической энергии. Короткое замыкание в линии или отключение генератора на электростанции может привести к нарушению этого баланса в том или ином участке энергосистемы, поэтому необходимо своевременно реагировать на такие возмущения во избежание аварий.

Одним из решений, позволяющим добиться поставленных задач по бесперебойной работе ЭС, является создание её цифрового двойника, способного помочь персоналу проверить работу своей станции и синхронных генераторов (СГ), с учетом удаленных станций, представленных в эквивалентном виде, что уменьшает масштабы моделирования.

Работа была проверена на математической модели 4-машинной энергосистемы (Схема Кундура). Модель представляет собой две области, каждая из которых содержит по два синхронных генератора.

Для сокращения моделирования схемы всей энергосистемы было проведено эквивалентирование двух удаленных генераторов в один.

Целью исследования является эквивалентирование удаленных ЭС с использованием СВИ.

Внедрение СВИ в работу позволило осуществить полноценный мониторинг параметров электрических режимов, что способствовало совершенствованию алгоритмов управления энергосистемами.

Полученная ЭС была протестирована при различных режимах работы и, по результатам, полученным при моделировании, делаются выводы о возможности использования СВИ для эквивалентирования удаленных ЭС. В целом, эквивалентирование удаленных электрических систем с использованием СВИ является эффективным решением для улучшения управления и контроля СГ с учетом удаленных объектов.

Литература

1. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н., Электротехника.

Д.Е. Михайлушкин, студ.;
рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

Автоматический регулятор возбуждения (АРВ) является важным компонентом в системе управления генератором. Он предназначен для регулирования тока возбуждения в генераторе таким образом, чтобы поддерживать стабильное напряжение и частоту в электрической сети.

Модель автоматического регулятора возбуждения (АРВ) необходима для исследования его работы и настройки параметров. Она позволяет определить, как изменения в нагрузке или других факторах влияют на работу генератора и энергосистемы в целом. Кроме того, модель АРВ может использоваться для сравнения различных типов регуляторов и выбора наиболее подходящего для конкретной системы.

Целью исследования является создание и исследование модели автоматического регулятора возбуждения в отечественном программном комплексе SimInTech.

Программный комплекс SimInTech предназначен для моделирования и анализа динамических систем. Он позволяет создавать модели систем, проводить эксперименты с ними и анализировать результаты. SimInTech может использоваться для исследования действия автоматического регулятора возбуждения.

В программном комплексе SimInTech был проведен анализ действия автоматического регулятора возбуждения (АРВ) в различных сертификационных схемах [1]. Для этого была создана модель генератора, который работает в составе энергосистемы. АРВ предназначен для поддержания стабильности напряжения и частоты в электрической сети.

По результатам, полученным при моделировании, делаются выводы о корректной работе модели автоматического регулятора возбуждения, были получены данные о действии автоматического регулятора возбуждения, которые могут быть использованы для оптимизации его работы и улучшения характеристик генератора. Планируется создание учебной лабораторной работы по исследованию АРВ в комплексе SimInTech.

Литература

1. **Стандарт организации ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.160.20.001-2012**, дата утверждения 03.04.2012. «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов».

*А.М. Балабанов, И.С. Резников, Д.В. Кукис, студенты;
Я.Е. Тепикин, асп.; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ANSYS MAXWELL

Влияние развивающихся дефектов на работу синхронного генератора представляет интерес для прогнозирования серьезности возникающих повреждений, так как СГ является дорогостоящим и трудоемким в ремонте оборудованием. Неисправности генераторов на мощных электростанциях могут серьезно повлиять на электрическую сеть и привести к крупным авариям. Для предотвращения серьезных последствий следует предупреждать аварийное отключение оборудования на раннем этапе появления дефектов. Однако существующие методы защиты не всегда способны обнаружить проблемы, возникающие со временем, и поэтому необходимо использовать моделирование и анализ параметров реальных синхронных генераторов для выявления дефектов (межвитковых замыканий, старения изоляции, смещение ротора относительно оси вращения) до их критического развития.

Использование пространственной модели Ansys Maxwell позволяет учитывать геометрические параметры машины и обладает возможностью расчета электромагнитных параметров СГ в двухмерном и трехмерном пространстве, поэтому ранее была создана модель генератора в данном программном обеспечении и верифицирована с помощью реальных данных, снятых с синхронного генератора ТВФ-110.

В данной работе рассматривается влияние межвитковых замыканий в статоре и роторе на работу СГ. Проводится анализ изменения электромагнитных параметров и оценка возможности их выявления с использованием мониторинга в реальном времени.

Таким образом, данная работа позволит оценить возможность улучшения качества работы СГ, а также продления срока службы в связи с своевременным выводом оборудования в ремонт.

Литература

1. **Klocke, Meinolf & Rosendahl, Jens.** (2006). Effects of Turn to Turn Stator Winding Faults in Synchronous Generators — A Numerical Study.
2. **Sinha, Amrita & Vishwakarma, D. & Srivastava, Rakesh.** (2010). Modeling and Simulation of Internal Faults in Salient-pole Synchronous Generators with Wave Windings. *Electric Power Components and Systems*. 38. 100–114. 10.1080/15325000903273338..
3. **Буль О.Б.** Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS, учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2006. 288 с.

А.С. Николаев, асп.; рук. А.А. Волошин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УТОЧНЕННЫЙ АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 220 КВ ПО ПОЛНОМУ И ОГРАНИЧЕННОМУ НАБОРАМ ДАННЫХ

Важным этапом при выборе выводимого в ремонт электрооборудования является процесс прогнозирования его технического состояния. Однако, прогнозирование изменения технического состояния электрооборудования в соответствии с действующей НТД осуществляется упрощенно с использованием линейной функции [1]. Срок прогнозирования должен составлять пять лет, а угол наклона линейной функции прогноза изменения индекса технического состояния (ИТС) задается значением $\text{tg}\alpha$, которое для ресурсопределяющих функциональных узлов составляет 0,03, а для всех остальных 0,1.

Стоит отметить, что фактические условия эксплуатации электрооборудования могут отличаться от нормативных и потому тангенс угла наклона может не совпадать с указанным значением. При этом возможность уточнения тангенса угла наклона, предусмотренная НТД, ограничена только его снижением, то есть только в сторону облегченных условий эксплуатации [2].

Кроме того, для формирования прогноза изменения ИТС используется скорость изменения ИТС за рабочий интервал между двумя последними ремонтами. При этом обновление значений по всем параметрам, которые необходимы для расчета ИТС [3], может производиться с периодичностью значительно большей, чем один раз в год. В таких случаях НТД предусмотрено использование более ранних значений параметров, что в свою очередь снижает точность прогноза.

В настоящей работе представлены результаты разработки и апробации алгоритмов прогнозирования ИТС трансформатора, на примере понижающего трансформатора с обмоткой высшего напряжения 220 кВ. Для апробации алгоритмов прогнозирования ИТС использовались наборы ретроспективных данных, содержащие разное количество параметров, отражающих изменение технического состояния трансформатора в процессе эксплуатации.

Литература

1. **Приказ министерства энергетики РФ от 19 февраля 2019 года № 123.**
2. **Антоненко И.Н.** «Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами энергетики» // Энергоэксперт, № 1 — 2020, с.26–33.ф.
3. **Приказ министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 года № 676.**

*Д.В. Кукис, И.С. Резников, А.М. Балабанов, студенты,
Я.Е. Тепикин, асп; рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА

Одной из ключевых частей электроэнергетической системы является генератор. На состояние генератора сильно влияет срок его эксплуатации. Жизненный цикл турбогенератора по ГОСТ [1] в настоящее время составляет 40 лет. До 1985 года нормативный срок службы турбогенераторов составлял всего 25 лет. Отечественная и зарубежная практика показывает, что фактический срок эксплуатации турбогенераторов зачастую существенно превышает срок, заявленный производителем. В таких обстоятельствах одной из важнейших задач становится оценка остаточного ресурса турбогенератора по результатам комплексного обследования.

Витковые замыкания — достаточно распространенный вид повреждения в синхронных генераторах. Однако в настоящее время релейная защита от этого вида повреждений не разработана. Стоит отметить, что поперечная дифференциальная защита срабатывает на такой вид повреждений, но для этого требуется, чтобы каждая фаза обмотки статора состояла из параллельных ветвей. Такое решение применяется на достаточно больших и мощных турбогенераторах. Поэтому большая часть генераторов на ТЭЦ не имеет защиты от этого вида повреждений.

В работе было проведено математическое исследование влияния витковых замыканий на паспортные параметры генератора такие как: синхронное сопротивление по продольной оси, синхронное сопротивление по поперечной оси и сопротивление Потье. Использовалась модель генератора в фазных координатах [2] и метод моделирования витковых замыканий через процент неповреждённых витков фазы [3]. Для обеспечения точности измерений предложено использовать устройства синхронизированных векторных измерений. Получены аналитические выражения для изменения параметров. Оценена чувствительность предложенного метода к количеству замыкаемых витков.

Литература

1. **ГОСТ 533-2000.** Машины электрические вращающиеся. Турбогенераторы. Общие технические условия.
2. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. Л.: Наука, 1985.
3. **Глазырин Г.В.** Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора // Вестник Московского энергетического института. 2017. — № 5. С. 34–39.

А.В. Иванов, студ.; рук. Л.Л. Черненский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ»

Проектирование молниезащиты зданий, сооружений, объектов электроэнергетики, а также взрывоопасных объектов не ограничивается установкой одного или двух молниеотводов, где ручной расчёт ещё возможен [1]. Суммарную зону защиты системы молниеотводов вручную рассчитать невозможно. Поэтому для проектирования молниезащиты от прямых ударов молнии требуется специализированное программное обеспечение, которого нет в свободном доступе.

Для выполнения расчёта зоны молниезащиты для наземного объекта, состоящей из нескольких молниеотводов, необходимо использовать компьютерный расчёт. Поэтому актуальной и важной задачей является разработка программного продукта, позволяющего рассчитывать зону защиты разного типа молниеотводов [2]. Возможность моделировать объект сложной формы, который защищается системой молниеотводов, также является задачей, являющейся важной неотъемлемой частью решаемой проблемы. Следует отметить, что в Российской Федерации на сегодняшний момент существует несколько нормативных документов, по которым выполняется расчёт зон молниезащиты: «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (РД 34.21.122-87)», «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО-153-34.21.122-2003)» и др. Программный продукт должен позволять пользователю выбирать нормативный документ и степень надёжности защиты объекта или совокупности объектов и проводить расчёт размеров зон защиты молниеотводов для выбранных значений, отражая результаты как в виде числовых значений, так и в графическом виде.

Графический интерфейс разрабатываемого программного продукта должен быть дружелюбным (быть удобным для пользователя, не знающего программирования), интуитивно понятным (быть логичным, простым и информативным) и отзывчивым (быть быстрым).

Литература

1. **В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь** Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. Учебное пособие для вузов. Под общей редакцией В.П.Ларионова — Москва, Энергоатомиздат, 1986. — 464 с.: ил.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. — М.: Издательство МЭИ, 2004: — 57с.

Д.Д. Дмитриев, студ.;
рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НОСОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ

Диэлектрические (радиопрозрачные) носовые обтекатели летательных аппаратов предназначены для защиты антенн радаров от воздействия грозových разрядов. С учетом современных требований к бортовым радиотехническим системам необходимо уделять особое внимание к выбору конструкции носовых обтекателей.

Для молниезащиты носовых обтекателей применяются в основном сплошные полосовые молниеотводы (жесткие шины) и сегментные молниеотводы [1].

На кафедре техники и электрофизики высоких напряжений выполнено исследование влияния типа молниеотвода модели обтекателя на индуцируемые на антенне под ним сигналы. Исследования проводились с помощью специального экспериментально-измерительного комплекса «ГРОЗА». Модель обтекателя устанавливалась на заземленную плоскость под искусственным облаком. Модельный обтекатель был защищен либо полосовыми, либо сегментными молниеотводами. Внутри обтекателя была установлена модель антенны, с которой, с помощью цифрового запоминающего осциллографа регистрировался индуцируемый при разряде из облака сигнал.

В случае, когда модельный обтекатель был защищен полосовыми молниеотводами, на антенне под ним индуцировались токи до 20 А. Когда молниезащита модельного обтекателя была выполнена с помощью сегментного молниеотвода, на антенне под ним, в среднем, индуцировался в два раза меньший по амплитуде ток. Таким образом, система молниезащиты, выполненная в виде сегментного молниеотвода, способствовала снижению индуцируемых на защищаемой антенне токов.

В рамках дальнейшей работы запланировано исследование влияния размеров сегментов и расстояний между ними на сигналы, индуцируемые на антенне при разрядах молнии.

Литература

1. **A. Temnikov, L. Chernensky, A. Orlov, N. Lysov, O. Belova, D. Kovalev, T. Kivshar** Investigation of the influence of the type of the lightning diverter strip on the spectrum of electromagnetic interference on the antenna under the model of the nose radome of the aircraft by using an artificial thunderstorm cell. *Technical Physics Letters*, 2022, Vol. 48, No. 14, 42–45.
2. **A. Temnikov, L. Chernensky, O. Belova, N. Lysov, T. Kivshar, D. Kovalev** INFLUENCE OF KIND OF LIGHTNING STRIPE MODELS ON SPECTRAL CHARACTERISTICS OF DISCHARGE PHENOMENA INSIDE AIRCRAFT NOSE RADOME MODEL. *Journal of Electrostatics*, 2022.

Гу Синьюань, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА НА РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗОНАТОРА

Озон, как мощный окислитель и дезинфектант, находит широкое применение в обработке воды, очистке воздуха, медицине и пр. Основной промышленный способ получения озона — синтез в барьерном разряде [1].

Настоящее исследование было направлено на изучение влияния параметров газового зазора на работу источника питания барьерного озонатора, с особым вниманием к неоднородностям этих зазоров

Была создана модель барьерного озонатора с резонансным источником питания на базе Matlab и проведено моделирование работы при различной неоднородности зазоров. На рис. 1 приведены зависимости амплитуды напряжения на генераторе озона в зависимости от его частоты для различной неоднородности газового зазора. Исследовались случаи однородного зазора (0,3 мм) и случаи линейного изменения размера зазора от 0,1 до 0,5 мм, от 0,15 до 0,45 мм, от 0,2 до 0,4 мм и от 0,25 до 0,35 мм. Значения U_{m0} и f_0 соответствуют амплитуде и резонансной частоте в случае однородного зазора (0,3 мм).

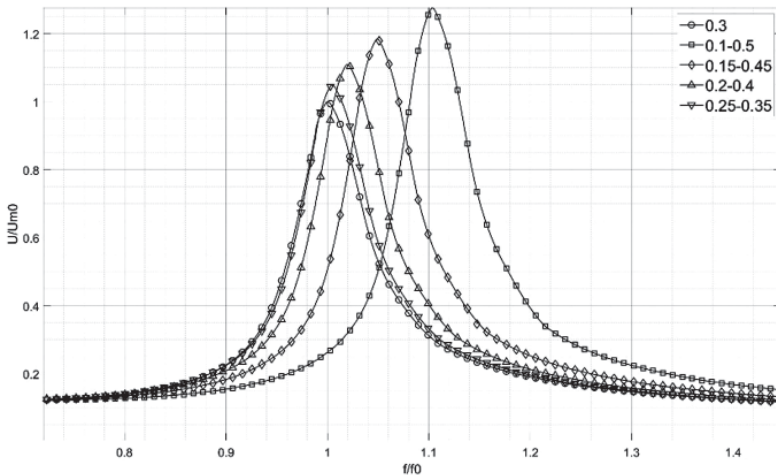


Рис. 1. Резонансные зависимости барьерного озонатора

Результаты моделирования показали, что даже незначительные отклонения от однородности газового зазора существенно влияют на работу барьерного озонатора.

Литература

1. Самойлович В.Г., Гибалов В.И. и Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда.

А.С. Кириллов, асп.;
рук. М.В. Соколова, к.т.н., вед. науч. сотр. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА В ЗАДАЧЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

Современные электронные компоненты с каждым годом потребляют всё больше мощности, что увеличивает тепловыделение. Для отвода тепла в них используются радиаторы и вентиляторы, габариты которых также растут. Актуальным является вопрос об исследовании и разработке новых способов и устройств по улучшению интенсификации теплообмена, одним из которых является электрический ветер [1–2].

Целью данной работы являлось улучшение интенсификации теплообмена при дополнительном охлаждении устройства с помощью электрического ветра. Задача обусловлена необходимостью дополнительного охлаждения IGBT-каскада высоковольтного источника.

Для проведения исследования эффективности применения электрического ветра были собраны макет силового транзистора с радиатором охлаждения и экспериментальная установка. Макет представлял собой резистор с рассеиваемой мощностью до 50 Вт, прикрепленный через слой термопасты к радиатору и разогреваемый источником тока GWInstek GPR-6030D. Равноудаленно от центра радиатора в направлении движения потока воздуха от вентилятора была натянута медная проволока различного диаметра, к которой подводилось высокое постоянное напряжение от источника Spellman SL300 амплитудой до 15 кВ. Эффективность охлаждения оценивалась по значениям температуры радиатора, определяемых с помощью тепловизора UNI-T UTi720e. По результатам экспериментов проведено сравнение распределения температуры радиатора при естественной конвекции и с использованием электрического ветра в качестве дополнительного охлаждения и показано положительное влияние электрического ветра на процесс теплоотвода.

Литература

1. **Елагин, И.А.** Экспериментальное исследование охлаждения пластины электрическим ветром от игольчатого электрода / И.А. Елагин, П.Ю. Марковский, Ю.К. Стишков // Журнал технической физики. — 2020. — Т. 90, № 4. — С. 568–573. — ISSN 0044-4642.
2. **Bumchang Kim.** Ion wind generation and the application to cooling / Bumchang Kim, Sanghyun Lee, You Seop Lee, Kwan Hyoung Kang // Journal of Electrostatics. — 2012. — V. 70, № 5. — P. 438–444.

*А.А. Сёмушкин, К.С. Алёшин, аспиранты;
рук. В.А. Шуин, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЦЕПЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ОДНОЙ ТОЧКЕ

Цепи возбуждения синхронного генератора представляют собой систему постоянного тока, изолированную от земли, в связи с чем замыкание на землю в одной точке не влияет на работу генератора. Однако возникает опасность появления замыкания на землю во второй точке, приводящего к недопустимым механическим перенапряжениям и вибрации ротора. По этой причине замыкание на землю в одной точке должно быть своевременно выявлено и устранено.

Разработка и испытания защиты ротора от замыканий на землю в одной точке непосредственно связаны с анализом и моделированием сложных электромагнитных процессов, протекающих в цепях возбуждения генератора в различных режимах его работы. Физическое моделирование цепей возбуждения генератора затруднительно, т.к. величины напряжения и тока возбуждения значительны, а макетирование системы возбуждения представляет собой сложную техническую задачу. Более эффективным является имитационное моделирование в среде SIMULINK программного комплекса MATLAB.

В данном комплексе разработаны две модели цепей возбуждения:

- с тиристорными системами возбуждения (СТС, СТН);
- с бесщеточной диодной системой возбуждения (СБД).

Модели выполнены с учетом технических особенностей указанных выше систем возбуждения, в результате чего достоверно отражают уровень пульсаций, гармонические составляющие и скорость изменения напряжения возбуждения для конкретной системы.

Модели реализуют возможность имитации различных процессов в цепях возбуждения, таких как: замыкания на землю в любой точке цепи возбуждения, отскок заземляющей щетки ротора, форсировка тока ротора, регулирование тока ротора при пропорциональном или сильном действии АРВ, гашение поля с помощью АГП и инвертирования или КГП.

Разработанные модели в текущий момент используются для разработки и тестирования защиты ротора от замыканий на землю в одной точке.

Литература

1. **Соловьев И.И.** Автоматические регуляторы синхронных генераторов / Под ред. Н.И. Овчаренко. М.: Энергоиздат, 1981.
2. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007.

А.И. Милосердов, студ.;
рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ГАЗА В ОЗОНАТОРЕ

Озон находит широкое применение в качестве экологически безопасного окисляющего и дезинфицирующего вещества. В промышленности для синтеза озона применяется барьерный разряд [1].

Генератор озона представляет собой систему электродов, на которую подаётся переменное напряжение. Один или оба электрода покрыты слоем диэлектрика. Через зазор между электродами подаётся кислород или воздух. Сам зазор стремятся сделать как можно меньше, что при больших площадях электродов неизбежно приводит к его неравномерности.

Цель работы — моделирование потоков газа в неоднородном газовом промежутке и определение неравномерности поля скоростей по поперечному сечению рассматриваемого объекта. Рассматривается цилиндрическая форма электродов как наиболее распространённая [1]. Неоднородность зазора задаётся смещением Δ осей электродов друг относительно друга (рис. 1).

В ходе работы в специализированном программном комплексе была создана модель генератора озона, получено распределение потоков газа через поперечное сечение генератора озона при различных значениях неоднородности газового зазора (рис. 2). Видно, что даже небольшое отклонение от соосности ведёт к существенному разбросу в объёмных расходах газа, что приводит к снижению эффективности синтеза озона.

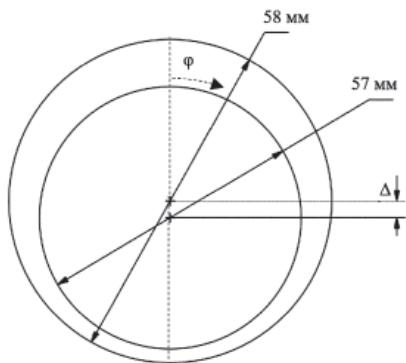


Рис. 1. Поперечное сечение моделируемого генератора озона

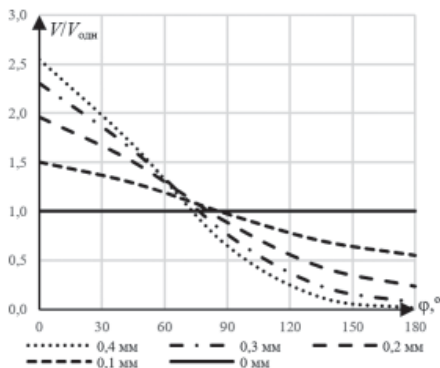


Рис. 2. Влияние неоднородности Δ на поток газа через генератор озона

Литература

1. Лунин В.В. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов / В.В. Лунин, Н.В. Карягин, С.Н. Ткаченко, В.Г. Самойлович. — М.: МАКС Пресс, 2008. — 216 с. — ISBN 978-5-317-02385-0.

*М.А. Семенова, студ.; А.В. Галимова, асп.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА МИКРООРГАНИЗМЫ (ОБЗОР)

В современной эпидемиологической обстановке очень важным является решение такой проблемы как дезинфекция и обеззараживание воздуха, воды и поверхностей. Инфекции, передающиеся воздушно-капельным путем, представляют одну из важнейших проблем инфекционной безопасности.

Обеззараживание воздуха при помощи газообразных химических реагентов порою затруднительно [1], так как их вдыхание может негативно влиять на здоровье человека. Поэтому для инактивации микроорганизмов, в том числе, используют различные формы электрических разрядов, облучение воздуха ультрафиолетовым излучением и т.п.

Например, в статье [2] показано, что пребывание микроорганизмов в электрическом поле (ЭП) униполярного коронного разряда (УКР) приводит к существенному возрастанию напряженности поля у поверхности частиц за счет их поляризации и ионной зарядки. Это дает основание полагать возможной инактивацию микроорганизмов в ЭП УКР.

При обеззараживании воды хлорирование и другие окислительные технологии оказались малоэффективными в части воздействия на вирусы. Показано, что применение низкотемпературной плазмы барьерного [3] и искрового разрядов [4] является эффективным средством для инактивации микроорганизмов в воде за счет контакта между клетками и активными частицами плазмы в ходе обработки жидкости.

Следовательно, сегодня актуален поиск новых путей обеззараживания воды, воздуха и поверхностей. Перспективной представляется попытка ее решения за счет использования различных форм низкотемпературных электрических разрядов. В дальнейшем будет выполнено теоретическое исследование возможности применения здесь стримерной формы разряда.

Литература

1. **Василяк Л.М.** Физические методы дезинфекции (обзор) // Успехи прикладной физики. 2018. Том 6. № 1. С. 5–17.
2. **Верещагин И.П., Соколовский В.А.** Условия для инактивации микроорганизмов в униполярном коронном разряде // Электричество. 2007. № 2. С. 2–7.
3. Инактивация микроорганизмов на плоских поверхностях барьерным разрядом / В.А. Панов, Л.М. Василяк, С.П. Ветчинин и др. // Прикладная физика. 2017. № 5. С. 25–30.
4. Исследование инактивации болезнетворных микроорганизмов в воде воздействием низкотемпературной плазмы / В.А. Колесников, Р.В. Якушин, В.А. Бродский и др. // Гигиена и санитария. 2016. 95(6). С. 588–592.

В.Е. Ашаев, асп.; рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАЩИТА В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В настоящее время, актуальна тема создания универсальной быстродействующей, селективной, надежной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях 6–35 кВ [1]. Несмотря на малые значения токов замыкания на землю, ОЗЗ представляет опасность возникновения пожаров и поражения шаговым напряжением и напряжением прикосновения людей. ОЗЗ влечет за собой коммутационные перенапряжения, приводящие к нарушению качества электроснабжения потребителей.

Корреляционная защита трехфазной сети с изолированной нейтралью отлично справляется с функцией защиты сети от ОЗЗ [2].

Корреляционный алгоритм срабатывает на искусственно создаваемые импульсы наложенного тока при кратковременной коммутации резистора неповрежденной фазы. Используя значения тока в присоединении и значение тока в резисторе, алгоритм позволяет выявить повреждение в линии, в секции шин. Данный алгоритм может работать с различными видами импульсов, сформированных коммутационным резистором. Например, вместо однократного включения резистора его можно коммутировать дважды. Данные коммутации могут выполняться включением неповрежденных фаз последовательно или многократное включение одной фазы.

В данной работе рассматривается корреляционная защита в различных режимах работы энергосистемы и сравниваются различные виды импульсов. Также предлагается решение увеличения качества сравнения получаемого сигнала после дельта-модуляции за счет накопления и сравнения статистических данных о «шумах» на устанавливаемом энергообъекте.

Главная цель работы — экспериментальное определение значения параметра реагирования корреляционного алгоритма в различных режимах работы энергосистемы, с последующей разработкой методики выбора уставок на основе созданных математических и физических моделей.

Литература

1. **Арцишевский Я.Л., Балашов В.В.** Релейная защита и электробезопасность персонала энергокомпаний и населения // Энергоэксперт. 2020. № 4 С. 64–67.
2. **Арцишевский Я.Л., Баяр Б.Э., Балашов В.В.** Ступенчатая корреляционная защита при ОЗЗ с коммутацией маломощного резистора в сети 6–35 кВ // Релейная защита и автоматизация. 2020 № 3. С. 26–29.

Д.Г. Григорьев, асп.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЕКТОРА ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Задача быстрого и точного определения возникновения КЗ является основной в релейной защите. От скорости определения значения тока будет зависеть момент срабатывания защиты, что в свою очередь повлияет на дальнейшую сохранность оборудования, подверженного протеканию токов КЗ, и устойчивость режима энергосистемы. Благодаря всё более широкому внедрению микропроцессорных терминалов, стандартным подходом к определению протекающих в сети токов стало использование синхронизированных векторных измерений, основанных на применении оконного ДПФ с обработкой 1–3 периодов промышленной частоты, а так же полупериодного ДПФ [1]. Известны методы, позволяющие получить значение вектора сигнала по его непосредственному значению и производной при использовании всего двух выборок [2]:

$$\vec{I}(t) = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{di}{dt} + j \cdot i(t); \vec{I}(n) = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{[i(n) - i(n-1)]}{T_d} + j \cdot i(n), \quad (1)$$

где n — номер выборки, ω — угловая частота сигнала, $i(n)$, $i(n-1)$ — актуальная и предыдущая выборки тока, T_d — период дискретизации сигнала. Взятая в формуле (1) производная имеет численное значение, характерное для точки между выборками $i(n)$ и $i(n-1)$, что приводит к появлению погрешности, зависящей от частоты дискретизации сигнала.

Для решения этой задачи предлагается применение цифрового трансформатора тока (ЦТТ), имеющего в своём составе измерительные органы для определения непосредственного значения тока и катушку Роговского, которая по принципу действия вычисляет значение производной [3]. Таким образом, используя ЦТТ с двумя датчиками, можно получить значение вектора непосредственно в момент измерения. В работе проанализированы особенности представленного способа.

Литература

1. **V.A. Revyakin, S.V. Pletnev and T.G. Klimova**, “Using the Fourier Transform of the Half-Cycle to Enhance the Application of the PMU,” 2020 3rd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–14, doi: 10.1109/RPA51116.2020.9301744.
2. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.: ил. ISBN 978-5-283-03256-6
3. **В.Д. Лебедев, Н.В. Кузьмина, Д.Г. Григорьев [и др.]** Теория и практика применения цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения // Релейщик. — 2023. — № 1(45). — С. 42–49. — EDN TLKQBG.

Е.К. Титарев, асп.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ИТЕРАЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ (ОБЗОР)

В устройствах высокого напряжения широк круг задач расчёта электрического поля (ЭП) коронного разряда (УКР). Его, например, применяют в электрофильтрах для очистки воздуха. Алгоритмы численного расчёта трехмерного УКР итерационные. В начале каждой итерации рассчитывается распределение напряжённости ЭП, а на его фоне — распределения концентраций заряженных частиц. Результаты, полученные на одной итерации, уточняются на следующей, и наибольшие затраты машинного времени приходится на расчёт ЭП. При числе итераций около 10^3 и более время счета велико. Поэтому выбор метода расчёта ЭП важен при построении вычислительного алгоритма.

Изучение литературы по расчету ЭП, позволило выделить ряд методов, экономичных по затратам машинного времени. Итерационный метод конечных разностей (МКР) в сочетании с попеременно-треугольным методом с чебышевскими параметрами быстро сходится [1], однако его применимость ограничена из-за использования прямоугольных КР сеток. Популярен метод конечных элементов (МКЭ), использующий прямой подход с LU-разложением или итерационный со стабилизированным методом бисопряженных градиентов [2]. МКЭ также сеточный, и требует значительных вычислительных ресурсов. Кроме того, сложна его программная реализация. Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) в сочетании с методом наименьших квадратов [3] обеспечивает высокую точность расчёта ЭП. Преимуществом МЭЗ является независимость от сетки и, следовательно, существенно меньшее число требуемых математических операций. Также он сравнительно прост в реализации.

Таким образом, в дальнейшем целесообразно рассмотреть усовершенствованный метод эквивалентных зарядов, а также метод конечных элементов прямого и итерационного хода.

Литература

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: учебное пособие для вузов. — М.: Альянс, 2022. — 432 с.
2. Пузикова В.В. Решение систем линейных алгебраических уравнений методом BiCGStab с предобуславливанием // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2011. № 5. С. 124–133.
3. Белогловский А.А., Артамонова Т.В. О решении систем линейных уравнений при расчете электрических полей методом эквивалентных зарядов // Материалы: XXVI Международная конференция «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)». — М.: ИНФРА-М, 2018. С. 305–316.

А.В. Клубков, асп.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ БАРЬЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА

В настоящее время наблюдается увеличение интереса к озонным технологиям со стороны различных отраслей производства. Наиболее распространенным способом промышленного получения озона являются электросинтез озона в барьерном разряде. Для питания высокопроизводительных озонаторов, работающих на барьерном разряде, хорошо зарекомендовали себя резонансные источники. Сам генератор озона в простейшем варианте можно представить в виде ёмкостной нагрузки, состоящей из двух последовательно включенных емкостей: газового зазора и диэлектрического барьера. Наличие электрического разряда в газовом зазоре, а также неравномерность самого зазора усложняет задачу и приводит к тому, что зачастую, фактическая резонансная частота системы отличается от расчётной [1]. В результате возникают дополнительные требования к конструкциям резонансных источников, а также режимов их работы.

Для определения влияния неоднородности газового зазора на режим работы источника питания была создана модель в программном комплексе ATPDraw. На рис. 1 представлены полученные в результате моделирования зависимости максимального резонансного напряжения и соответствующих резонансных частот от диапазона изменения величины зазора.

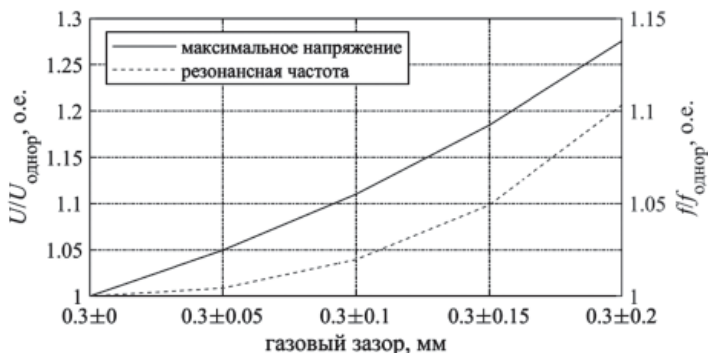


Рис. 1. Зависимости максимального резонансного напряжения и соответствующих резонансных частот от степени неоднородности газового зазора

Литература

1. Гибалов В.И., Лысов Н.Ю. и др. Характеристики барьерного разряда как элемента электрической цепи // Электротехника, 2021, № 8.

*К.П. Еремин, студ.; А.А. Иванов, асп.;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЁТУ И ПЕРЕНАСТРОЙКЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОЧУВСТВЛЕНИЯ АППАРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЩИТА 0,4 КВ

Зачастую, при отключении электроснабжения от внешней сети, используются резервные генераторы [1]. Однако, в ходе эксплуатации таких маломощных источников возникает проблема, связанная с недостаточной чувствительностью автоматических выключателей к токам короткого замыкания.

Эксплуатируются различные бензиновые и дизельные генераторы, источники бесперебойного питания, их комбинации, а также ветрогенераторы. Токи короткого замыкания, вызванные спецификой работы таких источников, часто остаются незамеченными, что может привести к пожарам. Для эффективного функционирования аппаратуры электрического щита при подобных условиях, необходимы правильно подобранные время-токовые характеристики, способные реагировать на малые токи с высокой чувствительностью.

Для решения этой проблемы предлагается установка устройства, обеспечивающего чувствительность комплекса аппаратуры электрического щита [2]. Это устройство требует наличие дифференциальных автоматов. Однако, чтобы сделать его универсальным, необходима база с паспортными данными генераторов, а также специальная программа, способная рассчитывать необходимые время-токовые характеристики.

В связи с этим в настоящей работе рассматривается разработка рекомендаций, необходимых для создания универсальной программы, способной в полуавтоматическом режиме рассчитывать время-токовые характеристики в зависимости от параметров подключенных генераторов. Это позволит сделать процесс настройки устройства более гибким и адаптированным к различным маломощным источникам электроэнергии.

Литература

1. **Михайлов В.Е.** Современная электросеть. — 1 изд. — СПб: Наука и техника, 2013. — 256 с.
2. **Арцишевский Я.Л., Еремин К.П., Иванов А.А.;** ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». Устройство релейной защиты для сетей с маломощными источниками электроэнергии. Патент № 2806447 РФ, МПК H02B3/00. № 2023111851; Заявл. 05.05.2023; Опубл. 01.11.2023.

Р.М. Матвиенко, студ.;
рук. А.Г. Темников, доцент, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИНИЦИИРОВАНИЕ РАЗРЯДА МЕЖДУ ИСКУССТВЕННЫМ ГРОЗОВЫМ ОБЛАКОМ И ЗЕМЛЕЙ ВВЕДЕНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОВ

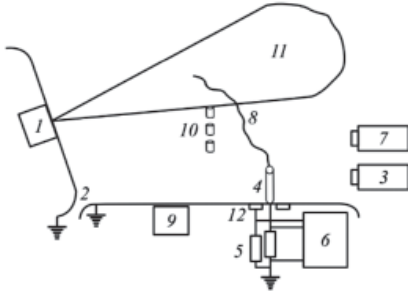


Рис. 1. Схема экспериментального комплекса:
 1 — ГЗА; 2 — электростатические экраны;
 3 — видеокамера; 4 — электрод на заземленной плоскости; 5 — шунты;
 6 — цифровой осциллограф;
 7 — цифровой фотоаппарат; 8 — разряд;
 9–11 — антенны; 12 — группа модельных гидрометеоров; 13 — искусственная грозовая ячейка

Вопрос активного воздействия на грозовые облака и контроля процессов инициирования молнии, а также выбора точки ее возможного попадания становится актуальным в связи с возрастными требованиями к молниезащите важных наземных объектов и летательных аппаратов, прямой удар молнии в которые может привести к катастрофическим последствиям и физическим повреждениям защищаемого объекта. Разряд молнии не должен формироваться возле таких объектов, а должен искусственно запускаться вдали от них. В работе представлены результаты исследований возможности инициирования и распространения разрядов между искусственной грозовой ячейкой и землей путем введения в окрестности облака групп модельных гидрометеоров. Опыты проводились на экспериментальном комплексе “Гроза” (см. рис. 1). Выполнено сравнение сигналов, полученных при серии опытов без модельных гидрометеоров и с их введением. Выяснилось, что для серии опытов без гидрометеоров максимальное значение тока молнии на 30% больше, чем для серии с модельными гидрометеорами, максимальная крутизна импульса тока на 57% больше. Перенесённый заряд отличается лишь на 5%. Установлены возможные варианты инициирования и развития разряда между заряженным облаком и землей введением модельных гидрометеоров, а также их влияние на характеристики разряда.

Литература

1. Применение искусственных грозовых ячеек для исследования проблем инициирования молнии между грозовым облаком и землей. А.Г. Темников, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов и др. // Известия Российской академии наук. Энергетика, № 2, 2017, с. 48–61.

В.Д. Семенова, студ.;
рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ НА БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

В современной авиации широко используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Надежность и безопасность их работы напрямую связана с вопросами электромагнитной совместимости. Один из ключевых аспектов этой проблемы — устойчивость БПЛА к внешним электромагнитным воздействиям, которая во многом зависит от устойчивости бортовых систем при конкретных электромагнитных воздействиях [1].

Ближний удар молнии является источником сильного электромагнитного излучения, которое может повлиять на работоспособность БПЛА. Некоторые из потенциальных помех, в результате близкого удара молнии, включают: электромагнитные импульсы, интенсивные вспышки гамма-излучения от грозовых разрядов, электростатические разряды и электрические перенапряжения.

Экспериментальный комплекс «ГРОЗА», входящий в состав центра коллективного пользования кафедры Техники и электрофизики высоких напряжений, позволяет создавать искусственные грозовые облака в аэрозольной камере, потенциалом в несколько мегавольт и обеспечивает формирование всех стадий разряда молнии [2].

В результате физического моделирования с помощью установки «ГРОЗА» было выявлено, что при пролете БПЛА вблизи грозового облака на антенне, располагающейся под грозовым облаком, наводились токи смещения, максимальное значение которых составляло 17,04 А. На антенне, расположенной напротив нижних границ грозового облака, наводились токи смещения с максимальным значением 4,56 А. Можно сделать вывод, что схожие токи смещения будут регистрироваться и на самом беспилотном летательном аппарате. Полученные результаты необходимо учитывать при разработке БПЛА.

Литература

1. **Гайнутдинов Р.Р.** Электромагнитная стойкость беспилотного летательного аппарата при косвенном воздействии разряда молнии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2017. № 4.
2. **N. Lysov, A. Temnikov, L. Chernensky, A. Orlov, O. Belova, T. Kivshar, D. Kovalev, M. Belyakov and V. Voevodin.** A Laboratory Investigation of the Probable Mechanisms of the Action of an Artificial Thunderstorm Cell on Model Aircraft Radomes // Atmosphere 2021, 12, 1637.

М.Д. Рязанцев, студ.; рук. А.Г. Темников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРЯДОВ В ИСКУССТВЕННЫХ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Для повышения эффективности функционирования систем определения места удара и параметров разряда молнии необходимо правильно интерпретировать электромагнитное излучение молнии и других разрядных явлений в грозовых облаках [1]. Проблема заключается в возникновении молний между грозовым облаком и землей с использованием модельных гидрометеорных массивов.

Использование искусственных грозовых облаков открывает новые возможности для ее решения [2]. В работе представляются результаты исследования характеристик электромагнитного излучения разрядов в искусственных грозовых облаках, с наличием группы модельных гидрометеоров (ГМ) и без.

Результаты обработки экспериментальных подходов показали, что крутизны импульсов излучения разрядов, в системе ячеек с ГМ в среднем на 20–25% выше, чем в системе ячеек где гидрометеорные массивы отсутствовали.

Выявлено влияние параметров групп ГМ на характеристики импульсов электромагнитного излучения разрядов. Присутствие групп ГМ увеличило ток импульсов в среднем в 1,2–1,5 раза больше, чем случае при их отсутствии. Также наличие ГМ повлияло на перенесенный заряд импульсов. Время протекания импульсов существенно не изменилось.

Литература

1. **A. Nag, M.J. Murphy, W. Schulz, K.L. Cummins.** Lightning location systems: insights on characteristics and validation technique. *Earth and Space Science* 2 (2015) 65–93.
2. **А.Г. Темников, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов, Н.Ю. Лысов, О.С. Белова, Д.С. Журавкова, Т.К. Кившар.** Искусственное инициирование молнии в грозовых облаках группами модельных гидрометеоров. *Электротехника* 8 (2018) 39–45.

Секция 59

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Theoretical basis of electrical engineering

Председатель секции: к.т.н. Силаев Максим Андреевич

Секретарь секции: к.т.н., доцент Жохова Марина Павловна

Г.Д. Грязнов, студ.; рук. Р.Г. Шамонов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БСК НА УРОВНИ ВГ В СЕТИ

Оценка фактического состояния качества электроэнергии (КЭ) по высшим гармоникам в ЕЭС России в электрических сетях 110–220 кВ за 2013–2015 отражена в монографии [1]. По результатам измерений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) по высшим гармоникам (ВГ) K_U и $K_{U(n)}$ за 2013–2015 год выявлено: — нарушения требований действующего стандарта ГОСТ 32144-2013 имеют массовый и систематический характер во многих энергосистемах; — наибольшие уровни K_U и $K_{U(n)}$ наблюдаются в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу переменного тока, алюминиевые заводы и крупные металлургические предприятия.

Согласно [2] существуют значительные риски дальнейшего ухудшения КЭ в ОЭС Сибири и ОЭС Востока, обусловленные планируемым ростом электрифицированных тяговых нагрузок.

Распространение ВГ токов и напряжений, генерируемых нелинейной нагрузкой, в электрическую сеть зависит от амплитудо- и фазо-частотных характеристик сети. Батареи статических конденсаторов (БСК), применяемые для компенсации реактивной мощности, значительно влияют на частотные характеристики сети. В зависимости от различных схемно-режимных условий, мест подключения БСК к сети и порядков гармоник, БСК могут как усиливать, так и уменьшать уровни ВГ. А в некоторых случаях БСК невозможно применять по причине их перегрева токами ВГ.

Во всех текущих нормативных документах по проектированию объектов электроэнергетики лишь в общих словах упоминается о мероприятиях для обеспечения КЭ на энергообъектах [2]. В силу отсутствия конкретных методик по расчёту ПКЭ, при проектировании не учитывается проблема обеспечения КЭ на энергообъектах, что в дальнейшем может ухудшить состояние КЭ в энергосистеме.

В связи с вышеизложенным, необходимо разработать методику по расчёту ПКЭ при проектировании энергообъектов, в которой в том числе будет оцениваться влияние БСК на уровни ВГ в сети.

Литература

1. **Коверникова Л.И., Суднова В.В., Шамонов Р.Г.** Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению. Новосибирск: Наука, 2017. — 219 с.
2. **Тульский В.Н., Шамонов Р.Г.** Тенденции в управлении качеством электроэнергии в ЕЭС России. Существующие проблемы и возможные решения.

С.Э. Израелян, А.Д. Денискина, студ.;
рук-ли Ф.Н. Шакирзянов к.т.н., проф.;
М.П. Жохова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ТОНКОГО ПРОВОДЯЩЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БУМАГИ

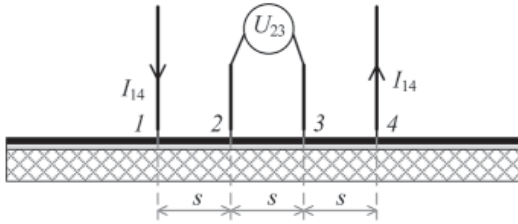


Рис. 1. Схема измерения четырёхзондовым методом

рёхзондовый и методы, основанные на измерении «сопротивления квадрата» и сопротивления утечки коаксиального кабеля.

Один из основных методов измерения — четырёхзондовый — в основном используется для исследования электрических свойств массивных полупроводников и проводников; в работе дана методика применения этого метода для измерения удельной проводимости тонкого проводящего поверхностного слоя бумаги. Схема измерения показана на рис. 1.

В работе учтено, что в процессе моделирования используется не сама проводимость бумаги, а эквивалентная проводимость, которая с одной стороны учитывает толщину бумаги, а с другой стороны может быть использована как удельная проводимость. В ходе ряда экспериментов было доказано, что более эффективным является использование четырёхзондового метода, так как на результаты двух других большое влияние оказывает степень прилегания электрода к поверхности бумаги.

Литература

1. К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 3 — СПб.: Питер, 2003.
2. Р.Б. Бурлаков, В.С. Ковивчак. К вопросу об измерении удельного сопротивления проводящих слоев четырёхзондовым методом. — Вестн. Ом. ун-та. 2014. № 2. С. 59–68.

Г.Ш. Эралиева, З.А. Узагалиев, аспиранты;
рук. К. Сатаркулов, к.т.н., доц. (КГТУ им. И.Раззакова г. Бишкек)

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ЦЕЛЬЮ ЕЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Научные изыскания по поиску относительно простых и дешевых способов диагностики изоляции силовых кабельных линий (СКЛ) остаются актуальными.

Настоящая работа посвящена построению компьютерной модели СКЛ в среде LabVIEW [1] и моделирования электромагнитных процессов с целью диагностирования изоляции СКЛ, основанная на исследовании характера электромагнитных процессов (ХЭП) при подаче на испытываемый высоковольтный кабель повышенного постоянного напряжения. При этом предполагается, что ХЭП зависит от наличия и характера локальных дефектов в изоляции СКЛ и их расположения.

Компьютерная модель СКЛ разработана на основе схемы замещения СКЛ (рис. 1) в виде неоднородной цепочной схемы (НЦС). Неоднородность НЦС объясняется возможными дефектами в изоляции кабеля. Результаты численного эксперимента на виртуальном приборе, разработанного в среде LabVIEW, подтвердило наши предположения.

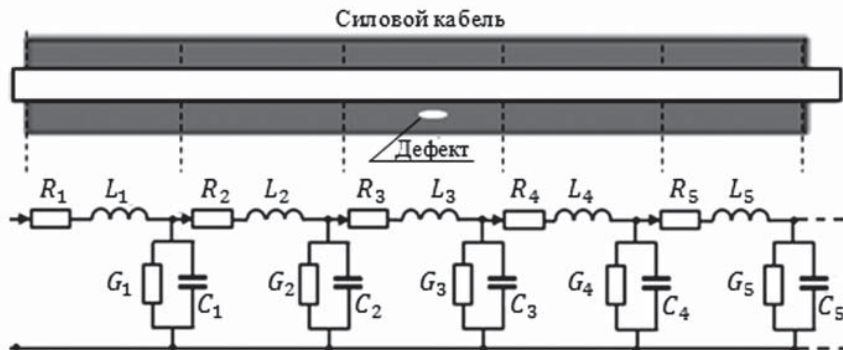


Рис. 1. Модель силового кабеля в виде неоднородной цепочной схемы

Литература

1. Асиев А.Т., Кабаев Т., Узагалиев З.А., Мусаев Р.К. Применение среды LabVIEW для исследования переходных процессов в силовых кабелях с целью контроля состояния его изоляции // Проблемы автоматизации и управления. 2021. № 3 (42). С. 111–120.

*Ж.К. Абдыбаева, Ж.А. Сулайманова, Ч.К. Дюшеева, аспиранты;
рук. К. Сатаркулов, к.т.н., доц. (КГТУ им. И.Раззакова г. Бишкек)*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СУММЫ ДВУХ ИНТЕРГАРМОНИК

В настоящее время в электрических сетях добавились нагрузки, способствующие появлению интергармоник, которые оказывают негативное влияние на элементы систем электроснабжения. Интергармониками являются токи или напряжения, не являющиеся кратными основной частоте переменного тока. Полного понимания природы электромагнитных возмущений, ассоциирующихся с интергармониками, еще нет, и в настоящее время к этому явлению возник повышенный интерес [1]. В этой работе предложено аналитическое представление сигнала в виде суммы двух интергармоник.

Вначале рассмотрим сложение двух интергармонических колебаний с одинаковыми амплитудами, но с разными не кратными частотами:

$$x = a \cdot (\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t) = 2 a \cdot \sin \frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} \cdot \cos \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2}. \quad (1)$$

Теперь предположим, что эти колебания $x_1 = a_1 \cdot \sin \omega_1 t$ и $x_2 = a_2 \cdot \sin \omega_2 t$ отличаются и по амплитуде ($a_2 > a_1$). Результирующее смещение в этом случае $x = x_1 + x_2 = a_1 \cdot \sin \omega_1 t + a_2 \cdot \sin \omega_2 t$. Амплитуду a_2 представим в виде $a_2 = a_1 + b$. Тогда с учетом (1) и после некоторых преобразований и получим:

$$x = \left(2 \cdot a_1 \cdot \cos \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2} \right) \cdot \sin \frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} + b \cdot \sin \omega_2 t. \quad (2)$$

Как видно из (2), на интергармонику с частотой ω_2 и амплитудой b накладывается интергармоническое колебание со средней частотой $(\omega_1 + \omega_2)/2$ и модулированной амплитудой смещения $2a_1$, что дает значительное увеличение общей амплитуде. Этим фактом можно объяснить дополнительные потери мощности в элементах систем электроснабжения.

Литература

1. **Гапиров Р.А.** Нормирование интергармоник как показателя качества электроэнергии в России и за рубежом / Р.А. Гапиров, Д.С. Осипов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — С. 284.

*М.Ю. Козеной, О.А. Пунников, студенты;
рук-ли Ю.Б. Церковский, ст. преп.;
М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТРАНСФОРМАТОР С УЧЁТОМ РАССЕЯНИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СВЯЗИ

Рассмотрена методика определения коэффициента связи трансформатора, коэффициентов линейного дифференциального уравнения трансформатора по результатам измерения импеданса первичной и вторичной обмоток трансформатора с помощью стандартного RLC-метра. Проведена проверка выполнения принципа взаимности $K_{св11}'=K_{св22}'$ ($M_{12}=M_{21}$), где $K_{св11}'$ и $K_{св22}'$ рассчитаны по формулам [1]:

$$K_{св11}' = \sqrt{1 - \frac{L_{1K}}{L_{1X}}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(R_{1K} - R_{1X})^2}{(L_{1X} - L_{1K})^2 \cdot \omega^2}} \quad (1)$$

$$K_{св22}' = \sqrt{1 - \frac{L_{2K}}{L_{2X}}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(R_{2K} - R_{2X})^2}{(L_{2X} - L_{2K})^2 \cdot \omega^2}} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) R_{1X} , L_{1X} , R_{1K} , L_{1K} — экспериментальные данные, полученные при измерении импеданса со стороны первичной обмотки на частоте ω при условии разомкнутой и короткозамкнутой вторичной обмотки; R_{2X} , L_{2X} , R_{2K} , L_{2K} — экспериментальные данные, полученные при измерении импеданса со стороны вторичной обмотки на частоте при условии разомкнутой и короткозамкнутой первичной обмотки.

В результате проведения экспериментов показано влияние частоты на параметры схем замещения трансформатора и ограничения линейной модели, связанные с выбором частоты измерения. Использование рассмотренной методики позволяет не проводить измерения со стороны вторичной обмотки, что хорошо подходит для определения параметров трансформаторов, имеющих малое число витков во вторичной обмотке.

Литература

1. **Д.В. Берников.** Связь индуктивности рассеяния трансформатора и потерь с нагрузке обратноходового преобразователя // Современная электроника — 2005 — № 3 с. 62–64.
2. A multiple-winding magnetics model having directly measurable parameters — Erickson, R.W.; Maksimovic D. — IEEE PESC'98 Record, 1998.

П.А. Труханов, студ.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА НА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЕННОМ РЕЖИМОМ НЕЙТРАЛИ ПРИ ОЗЗ

Резистивно-заземленный режим имеет преимущества в сравнении с изолированным и компенсированным режимами нейтрали. Его использование приводит к уменьшению скорости износа оборудования, снижению вероятности возникновения дуги при однофазных замыканиях на землю и улучшению надежности электрической сети.

Резистивно-заземленный режим нейтрали выполняют в новых проектируемых кабельных сетях 20 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Однако существует случаи реконструкций распределительных сетей 6,10,35 кВ с кабелями из бумажно-масляной изоляцией (БМИ) с установкой резистора в нейтраль силового трансформатора.

В ПУЭ п. 1.7.89 рассматривается появление напряжения до 10 кВ на заземляющему устройстве (ЗУ) при однофазных коротких замыканиях (ОКЗ) в сетях с эффективно-заземленной нейтралью. П. 1.7.94 приводит перечень мероприятий по снижению напряжения на ЗУ до 5 кВ. Эти мероприятия необходимы для избежания выноса потенциала в сеть СН и НН. Подобные мероприятия приводятся в [1].

Однако эти решения не подходят для кабельных сетей СПЭ вследствие отсутствия проводящей оболочки как у кабелей АСБ. Оболочка кабелей АСБ также подвержена износу, а сам кабель может располагаться в каналах, коллекторах или тоннелях и не иметь связи с землей.

Это приводит к выносу потенциала через экраны кабелей в сети НН при ОКЗ и однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ). Напряжения повреждения на ЗУ могут превысить допустимые значения [1].

В данной работе моделируются разветвленные сети с резистивной нейтралью напряжением 110,220/6,10,20,35/0,4 кВ в программном комплексе MATLAB. Рассматривается влияние заземляющего контура: сопротивление ЗУ и резистора в нейтрали и способов заземления экранов кабелей. В заключении приведены рекомендуемые значения сопротивлений ЗУ.

Литература

1. **ГОСТ Р 50571.4.44–2019 (МЭК 60364-4-44: 2007)**. Электроустановки низковольтные. Часть 4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений.

*П.А. Бордадын, М.Р. Шиш, студенты, М.В. Фролов, асп.;
рук. Д.А. Матвеев, науч. сотр. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДЕЛИ ЧЕРНОГО ЯЩИКА ЛАБОРАТОРНОГО ОДНОФАЗНОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА

В эпоху цифровизации в мире активно развивается сфера математического моделирования. Для прогнозирования поведения электрических цепей в различных режимах работы требуются математические модели реальных электротехнических устройств. Большинство производителей таких устройств не предоставляют их математические модели. В связи с этим создание точных математических моделей конкретных электротехнических устройств актуально.

Настоящая работа посвящена высокочастотному моделированию лабораторных автотрансформаторов (ЛАТР). Целью работы является создание в программах MATLAB/Simulink и EMTLab модели трансформатора АОСН-28-220, предназначенной для исследования импульсных процессов, в частности прохождения через него импульсных помех.

Модель ЛАТР разработана с помощью метода векторной аппроксимации частотных характеристик (Vector Fitting) [1], применяемого для моделирования высокочастотных и импульсных электромагнитных процессов. Для реализации модели были решены следующие задачи:

- 1) с помощью векторного анализатора цепей Keysight E5061B измерены частотные характеристики элементов матрицы проводимостей и передаточной функции по напряжению;
- 2) полученные характеристики аппроксимированы в частотной области;
- 3) найденные коэффициенты аппроксимации были использованы для формирования системы уравнений состояния, применяемой для реализации свертки воздействующих на трансформатор напряжений с его частотными характеристиками.

После разработки математической модели была произведена её экспериментальная верификация.

Полученная модель ЛАТР может быть использована для моделирования высокочастотных режимов работы цепей, а также для разработки универсальной модели, корректной для использования в широком частотном диапазоне.

Литература

1. **B. Gustavsen, A. Semlyen.** Rational Approximation of Frequency Domain Responses by Vector Fitting // IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, 1999, P. 1052–1061.

П.А. Бордадын, М.Р. Шиш, студенты, М.А. Кубаткин, инженер;
рук. Д.А. Матвеев, науч. сотр. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ГИСТЕРЕЗИСНОЙ МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Лабораторные автотрансформаторы (ЛАТР) находят широкое применение для регулирования напряжения в исследовательских и испытательных установках. В силу относительно небольшой номинальной мощности и конструктивных особенностей они способны искажать форму выходного напряжения, что нежелательно в большинстве применений. Кроме того, при их включении возникают достаточно большие пусковые токи, в ряде случаев препятствующие проведению экспериментов. При планировании исследовательских испытаний целесообразно делать оценку степени влияния ЛАТР на них с помощью численного моделирования. В связи с этим актуальной является разработка модели ЛАТР, воспроизводящей электромагнитные процессы в них и их влияние на условия проведения экспериментов.

Настоящая работа посвящена разработке низкочастотной модели ЛАТР в программе расчета установившихся и переходных режимов электрических цепей *EMTLab*. В основе модели лежит П-образная схема замещения автотрансформатора, полученная согласно принципу дуальности магнитных и электрических цепей. Ветви намагничивания схемы представлены с помощью модели динамического гистерезиса [1], встроенной в программу *EMTLab* в виде отдельного блока.

Проделанную работу можно разделить на несколько этапов:

- 1) разработка топологии модели ЛАТР;
- 2) экспериментальное определение характеристик стали магнитопровода ЛАТР;
- 3) определение параметров модели динамического гистерезиса по результатам проведенных экспериментов;
- 4) экспериментальное определение значений индуктивности рассеяния для различных положений регулятора;
- 5) верификация полученной модели.

Верификация модели ЛАТР подтвердила её корректность в расчётах установившихся режимов и переходных процессов при различной нагрузке и различных положениях регулятора.

Литература

1. S.E. Zirka, Yu.I. Moroz, N. Chiesa, R.G. Harrison, H.Kr. Hoidalen. Implementation of Inverse Hysteresis Model into EMT — Part I: Static Model // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 30, No. 5, 2015, pp. 2224–2232.

Г.М. Зернов, студ.; рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АКТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ, КАК СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 КВ

Перед энергетиками и учеными как России, так и других стран, стоит задача полного нивелирования влияния несинусоидальности и несимметрии на работу распределительных сетей и электроприемников. Успешное решение этого вопроса обеспечит лидерство на многие годы в сфере электроэнергетики.

Научно-исследовательские работы в этом направлении становятся особо актуальными. В частности, проведение исследования по разработке критериев выбора мест установки средств обеспечения качества электроэнергии (КЭ) внесет дополнительный вклад в развитие данного направления электроэнергетики.

Проанализировав научные труды [1–3] по теме исследования, можно прийти к выводу, что вопрос улучшения КЭ в России полностью не решен. На данный момент не хватает исследований в области несимметрии и несинусоидальности для создания универсальных технических решений по нейтрализации негативного влияния последних.

Кроме того, исследования по разработке критериев выбора мест установки средств обеспечения КЭ в электрических сетях не проводилось, что очередной раз подтверждает актуальность данной темы.

На стадии исследования моделируется включение активного фильтра в распределительную сеть 10 кВ с целью оценки его влияния на наличие высших гармоник и несинусоидальности.

Таким образом, результаты работы смогут послужить устойчивой базой для разработки критериев выбора мест установки активных фильтров для решения вопроса КЭ по несинусоидальности и несимметрии в распределительных сетях.

Литература

1. **Кишин С.В.** Проблема качества электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4–20 кВ // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ, 2017. Т. 1.
2. **Андрианов В.А.** Несимметрия напряжений и способы ее снижения // В мире научных открытий, 2016.
3. **Вяткина Е.А., Жданова В.А., Панкрац Т.В., Пугачева А.Г., Лютаревич Е.А.** Активно-адаптивное устройство как средство обеспечения качества электроэнергии в системах электроснабжения // Технические науки — От теории к практике, 2016, № 58-2.

А.М. Чикалева, асп.;
рук-ли О.С. Мельникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАСЧЕТЕ И ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В МУЛЬТИКАМЕРНОМ РАЗРЯДНИКЕ

На сегодняшний день существует широкий выбор аналитических и численных подходов для расчета электрических полей. В большинстве случаев задачи достаточно сложны, и точное аналитическое решение может быть достигнуто только с использованием грубых приближений, которые могут привести к неприемлемым ошибкам. Поэтому численные методы играют огромную роль в этой области. [1].

В процессе анализа и оценки электрических полей в устройствах высокого напряжения, используются специальные программы, такие как ANSYS Maxwell, которые позволяют проводить численное моделирование. Аппаратное обеспечение Ansys основано на применении математических уравнений Максвелла и метода конечных элементов, обеспечивающего высокую точность численного моделирования [2].

Целью данного исследования было создание модели многокомпонентной системы, состоящей из сферических разрядников. На первом этапе была разработана имитационная модель предполагаемого разрядника с учетом его реальных геометрических размеров и материалов электродной системы. Кроме того, были заданы граничные условия, необходимые для численного моделирования электрического поля (рис. 1).

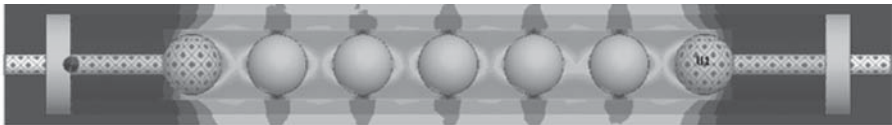


Рис. 1. Имитационная модель мультикамерного разрядника в ANSYS Maxwell

На втором этапе моделирования было учтено воздействие заземленных частей электроустановки, и было получено распределение электрического поля в системе разрядника.

Полученные результаты позволили выявить области с повышенной неоднородностью электрического поля. Эти результаты могут быть использованы для проведения параметрического исследования и оптимизации конструкции разрабатываемого устройства с целью улучшения его характеристик.

Литература

1. Анализ методов расчета электрических полей установок высоких напряжений. С.Ю. Шевченко, А.А. Окунь. Электротехника и Электромеханика. 2010. № 4.
2. ANSYS Maxwell 3D Field Simulator v16 User's Guide, ANSYS Inc.

Д.С. Горшков, студ.; рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ НЕСИММЕТРИИ

Проблематика несимметрии весьма актуальна в наше время, так как качественная электроэнергия необходима всем потребителям. Несимметрия может быть, как постоянная (неизменяющаяся), так и перемежающаяся (изменяющаяся). Изменение угла β между симметричными составляющими в широких пределах приводит к тому, что наибольшее значение тока I переходит с фазы на фазу, поэтому несимметрия называется перемежающейся. Для её анализа необходимо учитывать не только коэффициент несимметрии по обратной последовательности, но и угол между симметричными составляющими β_U (рис. 1).

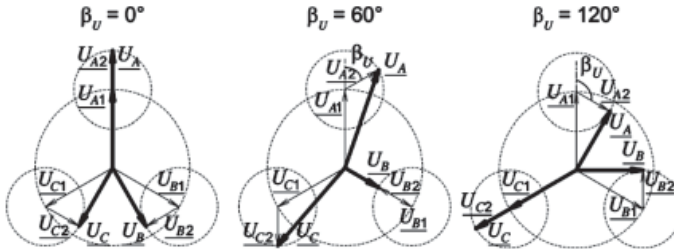


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений при различном угле между симметричными составляющими (β_U)

Этот угол определяется формулой (1), позволяющей вычислить косинус искомого угла при использовании минимального количества исходных данных:

$$\cos\beta = x / \sqrt{(\delta^2 - 3\mu^2)}, \quad (1)$$

где x , δ , μ — коэффициенты, зависящие от средне квадратичных значений фазных напряжений и их угловых сдвигов относительно действительной оси; формулы расчёта x , δ , μ можно найти в [1].

В современном мире несимметрию необходимо снижать, так как это может привести к поломке оборудования. Существует несколько способов компенсации такого рода проблемы: трёхфазное фазоповоротное устройство (ФПУ), установка частотных преобразователей, однако, наилучшим и наиболее перспективным решением является симметрирующее устройство.

Целью работы является разработка и моделирование данного устройства в среде Matlab. Преимущества относительно других методов компенсации несимметрии подробно описаны в работе.

Литература

1. Тульский В.Н., Силаев М.А., Дворкин Д.В. Перемежающаяся несимметрия напряжений: влияние на электродвигатели и способы измерения // Электроэнергия, № 3, 2019, С. 36–40.

*Е.С. Астахов, А.А. Питьёв, Д.П. Яковлев, студенты;
рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ТОКОВ ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

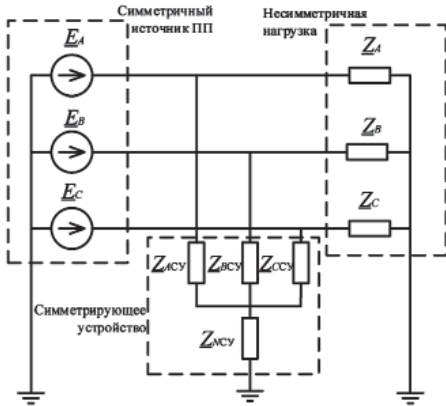


Рис. 1. Схема включения симметрирующего устройства

Обеспечение качества электроэнергии (КЭ) — один из наиболее актуальных вопросов в современной электроэнергетике [1]. В частности, важной задачей является снижение уровня несимметрии напряжений в электрических сетях. Причиной ее возникновения могут выступать несимметричные токи нагрузки. С целью выполнения требований к КЭ в части несимметрии напряжений необходимо производить компенсацию токов обратной (ОП) и нулевой последовательностей (НП) нагрузок.

Для решения данного вопроса применяются симметрирующие устройства (СУ). В частности, существуют устройства, представляющие собой несимметричную батарею конденсаторов. В [1] приводится методика выбора параметров таких СУ для компенсации токов ОП. Целью данной работы является разработка аналогичной методики определения параметров симметрирующего устройства (рис. 1), выполненного из реактивных элементов и позволяющего осуществлять компенсацию токов ОП и НП.

Для решения данного вопроса применяются симметрирующие устройства (СУ). В частности, существуют

устройства, представляющие собой несимметричную батарею конденсаторов. В [1] приводится методика выбора параметров таких СУ для компенсации токов ОП. Целью данной работы является разработка аналогичной методики определения параметров симметрирующего устройства (рис. 1), выполненного из реактивных элементов и позволяющего осуществлять компенсацию токов ОП и НП.

В качестве исходных данных в рассматриваемой задаче выступали симметричные составляющие токов нагрузки и напряжение симметричного источника прямой последовательности. Параметры СУ определялись из условия отсутствия составляющих токов НП и ОП источника.

Литература

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2017.

*Е.С. Астахов, А.А. Питьёв, Д.П. Яковлев, студенты;
рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Обеспечение качества электроэнергии (КЭ) является одним из наиболее важных вопросов в современной электроэнергетике. Распределение ответственности за ухудшение КЭ связано с моделированием несимметричных режимов трехфазных сетей. Одним из рассчитываемых параметров КЭ является коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности (ОП) K_{2I} . Оценка диапазонов изменения K_{2I} позволяет судить о корректности получаемых результатов моделирования несимметричных режимов.

В случае трехпроводной схемы с симметричной системой ЭДС прямой последовательности (ПП) и несимметричной нагрузкой значение K_{2I} определяется сопротивлениями пассивных элементов. Из анализа схемы была получена формула для расчёта K_{2I} :

$$K_{2I} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[R_B + R_C - 2R_A + \sqrt{3}(X_B - X_C)]^2 + [X_B + X_C - 2X_A + \sqrt{3}(R_C - R_B)]^2}{(R_A + R_B + R_C)^2 + (X_A + X_B + X_C)^2}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R_A и X_A , R_B и X_B , R_C и X_C — активное и реактивное сопротивление нагрузки фаз A , B и C соответственно.

В общем случае для трехпроводной схемы и симметричного источника ЭДС ПП коэффициент K_{2I} может принимать любые значения. При соблюдении следующего условия в схеме будут отсутствовать токи прямой последовательности:

$$(R_A + jX_A) + (R_B + jX_B) + (R_C + jX_C) = 0. \quad (2)$$

На практике нагрузка в цепи имеет активно-индуктивный характер. Анализ формулы (1) показывает, что ток обратной последовательности может превышать ток прямой последовательности при активно-индуктивной нагрузке.

Полученный в работе результат может быть применен при анализе результатов моделирования несимметричных режимов трехфазных сетей.

Литература

1. **Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г.** Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2017.

Е.С. Астахов, А.А. Питьёв, Д.П. Яковлев, студенты;
рук. М. А. Силаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ШЕСТИПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАГРУЗКИ НА СТОРОНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

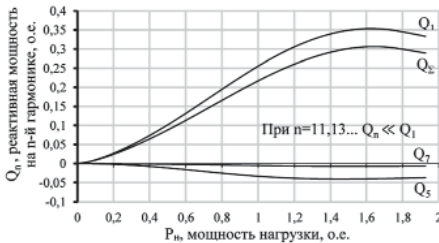


Рис. 1. Зависимость реактивной мощности от мощности нагрузки

Целью данной работы стало определение вклада выпрямителя в баланс реактивной мощности на основной частоте и частоте ВГ.

Произведена оценка влияния нагрузки на реактивную мощность на входе преобразователя при его подключении к идеальному симметричному источнику. Показано, что реактивные мощности по Будяну на основной частоте и частоте ВГ равны нулю. Верификация полученных результатов осуществлялась в *Matlab Simulink*.

С помощью разработанной модели были определены зависимости реактивных мощностей на входе преобразователя от его активной мощности (рис. 1). В результате были получены следующие выводы:

- преобразователь потребляет реактивную мощность на основной частоте;
- на частотах ВГ выпрямитель генерирует реактивную мощность;
- при добавлении в цепь постоянного тока L -, C -, LC -фильтров характер зависимости на рис. 1 изменяется несущественно.

Результаты исследования могут быть применены при оценке влияния шести-пульсных преобразователей на уровень несинусоидальности и баланс реактивной мощности на основной частоте в сети.

Литература

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2017.

Направление XII

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
Hydropower and renewable
energy sources**

Руководитель направления:

Директор института гидроэнергетики
и возобновляемых источников энергии

к.т.н., доцент

Шестопалова Татьяна Александровна

Секция 60

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Hydropower and renewable energy sources

Председатель секции:

к.т.н., доцент Шестопалова Татьяна Александровна

Секретарь секции: Кунакин Дмитрий Николаевич

*С.А. Кострюков, А.Р. Васильев, студенты;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц.(Филиал МЭИ в г. Волжском)*

МОДЕЛИ И ПРОФИЛИ РАБОЧИХ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Развитие отечественной электроэнергетики сопровождается ростом объемов выработки электрической энергии на ветряных электростанциях (ВЭС). В этой связи, значительное распространение получили ветроэнергетические установки с горизонтальной и вертикальной осью вращения ротора. При этом большей единичной мощностью обладают ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения ротора. Ветрогенераторы с вертикальным расположением ротора применяются, в основном, на объектах генерации малой мощности. Таким образом, целью работы является повышение эффективности выработки электрической энергии на ВЭС на основе создания исследования характеристик лабораторной физической модели и профилей рабочих лопастей ветрогенератора с вертикальным расположением ротора [1].

В ходе исследований авторами проведены лабораторные испытания разработанных физических моделей и профилей ветрогенератора. Установлены локальные эффекты, возникающие вблизи поверхности профиля лопасти ветроколеса, характерные для конкретных моделей и профилей. Выполнено сравнение полученных в лабораторных условиях значений коэффициента мощности и электрической мощности модельной установки ветрогенератора для различных профилей рабочих лопастей [2].

Результаты исследования могут быть использованы на стадии обоснования предпроектных решений при создании высокоэффективных ветроэнергетических комплексов для развития отечественной энергетической системы.

Литература

1. **Шерязов С.К., Иسنев С.С., Исаков Р.М. и др.** Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2021. — Т. 23. — № 5. — С. 24–33.
2. **Янсон Р.А.** Ветроустановки. — М.: 2007. — 36 с: ил.

А. Дееб, сту., рук. А. Н. Дорошин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ЦЕНТРА

Гибридные системы часто используются для обеспечения доступности электроэнергии в сельской и удаленной местности [1]. Рассматривалась гибридная система, состоящая из фотоэлектрических панелей, аккумуляторов, ветряной турбины и дизель-генератора, обеспечивающая электроэнергией электрические нагрузки мощностью 55 кВт в час в сутки при пиковой нагрузке 5,9 кВт в течение дня (24 часа). Технико-экономический анализ выполнен с использованием программного обеспечения HOMER. На рис. 1. показаны элементы гибридной системы, где: ФЭ — фотоэлектрические системы; ВТ — ветряная турбина; ДГ — дизель-генератор; К — Аккумулятор; НК — начального капитала; ЭР — эксплуатационные расходы; ЧПС — чистая приведенная стоимость; ССЭ — средняя стоимость энергии.

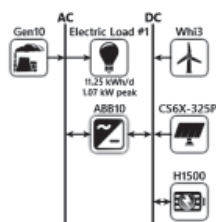


Таблица 1. Сводка результатов оптимизации HOMER

вариант	Компоненты	ФЭ кВт	ВТ кВт	ДГ кВт	К кВтч	НК \$	ЭР \$/год	ЧПС \$	ССЭ \$/кВтч
1	ФЭ	21	-	-	162	48660	1018	61673	0.240
2	ФЭ-ДГ	20	-	10	108	40948	1622	61677	0.240
3	ФЭ-ВТ-ДГ	15	3	10	126	49156	1713	71054	0.277
4	ФЭ-ВТ	21	3	-	144	55112	1457	73736	0.288
5	ВТ-ДГ	-	12	10	72	55492	7552	152036	0.592
6	ДГ	-	-	10	54	14444	15677	214850	0.837

Рис. 1. Элементы гибридной системы

Сравнение результатов экономической целесообразности конфигураций системы, описанных в таблице 1, показывает, что гибридные системы, обозначенные как варианты 1 и 2, выбраны в качестве оптимальной конструкции гибридной системы для питания электрических нагрузок. Сравнивая гибридные системы в вариантах 1, 2 с точки зрения предпочтений в питании и бесперебойности электроснабжения, был выбран вариант 2, поскольку чистая приведенная стоимость и средняя стоимость энергии за кВтч для вариантов 1, 2 практически равны. Включение в систему обычного дизельного генератора гарантирует его работу в условиях сильной облачности. Кроме того, низкая мощность и стоимость аккумуляторов для варианта 2 (108 кВт) по сравнению с вариантом 1 (162 кВт), а также начальный капитал с 48 660 долларов США в варианте 1 до 40 948 долларов США в варианте 2.

Литература

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. “Возобновляемые источники электроэнергии” — Краснодар: КубГАУ, 2012. — 272 с.

*С.А. Кострюков, А.Р. Васильев, студенты;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц.(Филиал МЭИ в г. Волжском)*

ЛОКАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ МОДЕЛИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РОТОРА

Создание новых конструкций профилей рабочих лопастей является важной задачей повышения эффективности функционирования ветрогенераторов с вертикальным расположением ротора. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) данного типа характеризуются небольшой единичной электрической мощностью и широко применяются для энергоснабжения удаленных потребителей. При этом главной проблемой ВЭУ является низкий коэффициент использования энергии ветра, не более 14–16% [1].

Целью работы является комплексное исследование локальных характеристик лопастей ветрогенератора с ротором Савониуса и совершенствование конструкций профилей ротора на основе моделирования лопастного аппарата ветрогенератора, выполненного по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° и сравнительного анализа полученных характеристик.

В работе авторами в части исследования локальных эффектов, возникающих вблизи поверхности лопастей ветрогенератора, установлено, что декомпрессионная зона расположена в вогнутой поверхности ковша ротора. Зона ускорения формируется в выпуклой поверхности ковша ротора и характеризуется максимальными значениями скоростей потока воздуха. Данное обстоятельство обеспечивает устойчивый крутящий момент ротора и повышение коэффициента эффективности использования энергии ветра, оценочно на 10%, по сравнению с классической моделью ротора Савониуса и удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными, представленными в работах [2, 3]. Установлено, что расчетные значения скоростных полей потока обеспечиваются удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными и результатами расчетов [2, 3].

Литература

1. **Янсон Р.А.** Ветроустановки. — М.: 2007. — 36 с: ил.
2. **Шерязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М. и др.** Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2021. — Т. 23. — № 5. — С. 24–33.
3. **Гусева Ю.В., Кострюков С.А., Васильев А.Р.** Лабораторная модель ротора Савониуса // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2022. — Т. 24. — № 3. — С. 83–90.

Н.С. Белозеров, студ. ;
рук. А.В. Третьяков, к.т.н. доц. (ГУ «Дубна», Дубна)

ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Используется математическое моделирование аэродинамических свойств ветроколеса [1]. Оптимизация аэродинамических характеристик профилей ветрогенератора позволяет увеличивать выработку электроэнергии путем: увеличения подъемной силы, ограничения аэродинамического момента (АМ) при максимальных скоростях ветра, стабилизации динамических процессов и достижения нечувствительности к загрязнению. Реализован расчетный метод получения характеристик АМ и коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ) [2] для любого выбранного аэродинамического профиля лопасти ветроколеса, позволяющий производить оптимизацию конструкции ветрогенератора по критерию максимизации среднегодовой выработки. Исходными данными расчета служат кривые Лилиенталя выбираемого профиля. В расчете строятся графики зависимости коэффициента АМ (рис.1) и КИЭВ от коэффициента быстроходности и угла заклинивания лопасти: $m_x = f(z, \varphi)$ и $\xi = f(z, \varphi)$.

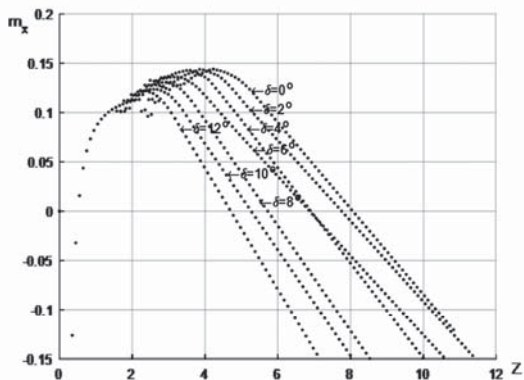


Рис. 1. Характеристика аэродинамического момента профиля Gottingen 195

Реализован расчетный метод получения характеристик АМ и коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ) [2] для любого выбранного аэродинамического профиля лопасти ветроколеса, позволяющий производить оптимизацию конструкции ветрогенератора по критерию максимизации среднегодовой выработки. Исходными данными расчета служат кривые Лилиенталя выбираемого профиля. В расчете строятся графики зависимости коэффициента АМ (рис.1) и КИЭВ от коэффициента быстроходности и угла заклинивания лопасти: $m_x = f(z, \varphi)$ и $\xi = f(z, \varphi)$.

Литература

1. Третьяков А.В., Пискунова О.И. Проектирование системы автоматического управления ветроэнергетической установкой. Дубна: Университет «Дубна», 2022.
2. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. К.2. Ветроэнергетика. Севастополь: Севастопольский тех. ун-т, 2004.

*К.В. Волков, студ.;
рук. А.В. Третьяков, к.т.н., доц. (ГУ «Дубна», Дубна)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВЫМ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ

Эволюция конструкций горизонтально-осевых ветроустановок происходит в направлении увеличения выработки электроэнергии, повышения надежности и долговечности, снижения производственных и эксплуатационных затрат. Все это достигается путем оптимизации аэродинамических характеристик используемых профилей с учетом решения задач: увеличения подъемной силы, ограничения аэродинамического момента при максимальных скоростях ветра, стабилизации квазистационарных динамических процессов.

Работа является развитием и продолжением цикла публикаций [1, 2, 3]. Создана математическая модель системы управления ветрогенератора с изменяемой блочной структурой, позволяющей выбирать компоненты: виды аэродинамических профилей, распределений ветра, алгоритмов работы системы управления. Реализована в программной среде Matlab. Используются принципы детерминированного моделирования аэродинамических, моментных, скоростных и энергетических параметров ветрогенератора. Модель служит инструментом для проведения исследований по выбору аэродинамических профилей, определению ветровых потенциалов и оптимизации алгоритмов управления в целях увеличения среднегодовой выработки электроэнергии. Модель позволяет решать задачи по оптимизации алгоритмов управления при работе системы не только в квазистатическом, но и в динамических режимах разгона и торможения.

В результате моделирования определены значения годовых выработок для профилей типов: Gottingen, Mark Eppler, Delft University, NASA, Onera Nor и др.

Литература

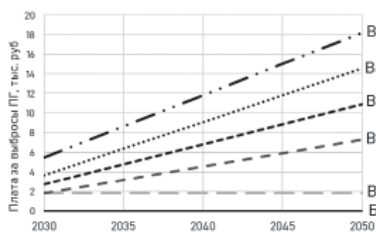
1. Математическое моделирование системы генерирования электроэнергии горизонтально-осевой ветроэнергетической установки / В.С. Машинкин, А.В. Третьяков // Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление. Всероссийская конференция с международным участием. Сборник тезисов докладов. — Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2021. — с. 30.
2. Математическое моделирование системы управления ветрогенератора / В.С. Машинкин, А.В. Третьяков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать девятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.: Радуга, 2023. — с. 1135.
3. Способ оптимизации функционального алгоритма ветроэлектрогенератора / Е.А. Дворяшин, А.В. Третьяков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать девятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.: Радуга, 2023. — с. 1134.

А.В. Шигина, асп.;
рук. А.В. Кейко, д.т.н., гл. науч. сотр. (ИНЭИ РАН, Москва)

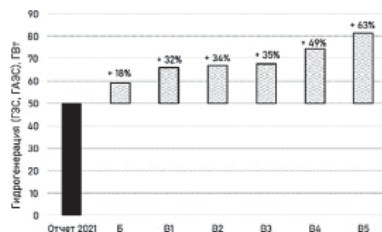
ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ВИЭ-ГЕНЕРАЦИЮ В РОССИИ

Углеродное регулирование стимулирует декарбонизацию экономики, способствуя расширению безуглеродной генерации, зачастую за счет введения платы за тонну выбросов парниковых газов (ПГ), выраженных в CO_2 -эквиваленте (CO_2e).

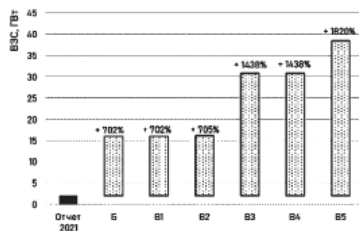
Исследовано влияние величины платы за выбросы ПГ на установленную мощность ГЭС, СЭС и ВЭС в России в перспективе 2050 года с учетом ограниченности объема вводов. В рамках системного моделирования выполнены расчеты на разработанной в ИНЭИ РАН линейной динамической оптимизационной модели EPOS. На рисунке представлены изменения установленной мощности электростанций к 2050 году относительно отчетного 2021 года в отсутствие углеродного регулирования (сценарий Б) и для различных вариантов введения платы за выбросы в 2030 году (сценарии В1-В5).



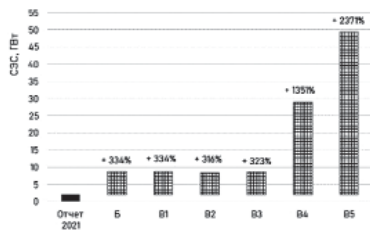
(а)



(б)



(в)



(г)

Рис. 1. Плата за выбросы ПГ (а) и соответствующие изменения установленной мощности ГЭС и ГАЭС (б), ВЭС (в) и СЭС (г) в перспективе 2050 года в России

Повышение платы за выбросы ПГ приводит к существенному (за счет эффекта низкой базы), но при этом нелинейному росту установленной мощности ВИЭ-генерации. Для отдельных источников энергии прирост установленной мощности может сохраняться или даже сокращаться при переходе от одного сценария к другому.

И.Н. Соколов, асп.;

рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СТАЦИОНАРНОГО ВИБРОМОНИТОРИНГА ВС-357 НА АЗОВСКОЙ ВЭС

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения надежной эксплуатации технически сложного оборудования, к которому, безусловно, следует отнести различное энергетическое оборудование, является непрерывный контроль различных параметров рассматриваемого оборудования. Одной из групп диагностических параметров, по которым является возможным определение значительного числа различных дефектов, являются данные вибрационной диагностики.

В мае 2023 года системы вибрационной диагностики и мониторинга ВС-357 и ВС-311[1] были опробованы на генераторах № 16 и № 25 Азовской ВЭС. Генератор № 16 имел подозрение на дефект подшипника, генератор № 25 на момент измерений дефектов не имел. В качестве вибропреобразователей использовались датчики AP2037-100 и датчики штатной системы вибромониторинга генератора.

Были проведены две серии измерений:

- на холостом ходу генератора № 16, замеры проводились в трех точках в передней и задней частях генератора в радиальном направлении.
- на генераторе № 25 в режимах холостого хода и генерации. Расположение датчиков соответствовало предыдущему измерению.

В результате измерений на генераторе № 16 была обнаружена повышенная вибрация на частоте 18.2 Гц (1092 об/мин). Вибрация присутствует на редукторе и корпусе генератора. На генераторе №25 вибрация на этих частотах отсутствует.

По результатам проведенных измерений можно сделать вывод о возможности применения системы ВС-357 для вибрационного мониторинга генераторов Азовской ВЭС, при этом имеется возможность задействовать штатные датчики системы вибромониторинга. В ходе эксперимента ВС-357 обеспечил запись параметров вибрации в режиме работы по событиям в течении суток и подробные записи для проведения анализа.

Литература

1. **Соколов И.Н., Корпий В.Г.** Методы и оборудование для определения состояние энергетического оборудования про данным вибродиагностического обследования // Информационные технологии, энергетика и экономика: Сб трудов XX-ой межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Смоленск, 2023. Т. 1.

*З.С. Тошев, студ.; Р. Мустаев, асп.;
рук. Р.Х. Бейтуллаева, доц. (КИЭИ, Узбекистан, г.Карши)*

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО БЕСКОНТАКТНОГО КОММУТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

Одной из актуальных задач является разработка простого надежного устройства для бесконтактного переключения в сеть трехфазного электрооборудования [2]. С учетом этого было разработано новое трехфазное бесконтактное коммутационное устройство для запуска трехфазных потребителей и электродвигателей, принцип и параметры для его работы следующие: Номинальные параметры электрической трехфазной сети 380 В, частота 50 Гц. Для маломощных пускателей в схеме применяют симисторы, а для мощных — тиристоры, включенные встречно-параллельно [1].

В схеме управления используется микроконтроллер Arduino MEGA (рис. 1). Микроконтроллер получает питание от выпрямителя от сети 220 В, 50 Гц. Поскольку микроконтроллер имеет 54 точки ввода/вывода (Pins), с его помощью можно собрать широкий спектр схем запуска и управления.

Была проведена проверка надёжности устройств бесконтактного пуска электродвигателей и электро-оборудования работающего на возобновляемых источниках энергии. Определено что симисторное устройство с бесконтактным пускателем ($P=99,53\%$), по сравнению с тиристорным пускателем большой мощности с электромагнитным управлением в котором используются маломощные контакты ($P=94,19\%$), а также по сравнению с тиристорным бесконтактным пускателем ($R=94,32\%$) имеет лучшие характеристики.

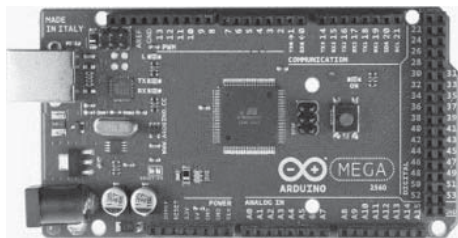


Рис. 1. Микроконтроллер Arduino MEGA

Литература

1. **Бобожанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А.** Импульсный пускатель однофазного электродвигателя // Патент на полезную модель. № ФАП 02240. 28.02.2023 г.
2. **Клевцов А.В.** Бесконтактное устройство с тормозным электродвигателем. Учебное пособие М: Инфра-Инжиниринг, 2018 — 188 с.

В.П. Строков, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ПО ВЕТРОВЫМ РЕСУРСАМ С САЙТА «NASA» ДЛЯ РАВНИННОЙ МЕСТНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ОЭС ЮГА

На ранних этапах проектирования отсутствуют данные ветровых измерений на площадке проектируемой ВЭС на высоте оси ветроколеса ВЭУ. Эти данные могут быть получены из различных баз данных (БД), одной из которых является БД «NASA», позволяющая получить данные в любой произвольной точке Земли на двух высотах измерений (10 м и 50 м). Существенный недостаток этих данных — это ассимилированные данные по компьютерным моделям. От точности исходных данных и моделей вертикального профиля ветра (ВПВ) для пересчета скорости ветра по высоте зависят технико-экономические показатели проекта ВЭС. Как и любые результаты моделирования, данные БД «NASA» требуют верификации с непосредственно измеренными данными, например, в точках наземных метеостанций (МС) с сайта «Расписание Погоды».

Верификация данных по ветровым ресурсам БД «NASA» проводилась сравнением энергетических характеристик ветра, рассчитанных по сгенерированным данным БД «NASA» с характеристиками, рассчитанными по архивным данным из БД «Расписание Погоды», на площадках 14-и наземных МС, расположенных в аэропортах на территории ОЭС Юга [1]. Данные по двум БД были получены за период с 01.01.2013 по 31.12.2022 на высоте 10 метров. Была выявлена применимость данных БД «NASA» на открытых площадках равнинной местности, причем погрешность средней скорости по данным БД «NASA» за разные интервалы времени (несколько лет, год, месяц) снижается прямо пропорционально при увеличении класса открытости площадки МС $K_{МС}$. Для МС, расположенных в холмистой и гористой местности на тенденцию снижения δV при увеличении $K_{МС}$ оказывают влияние и другие факторы, например, экспозиция холмов и склонов, которые учитывать крайне сложно и в работе они не исследовались. Также было выявлено, что компьютерные модели БД «NASA» учитывают реальную динамику изменения среднегодовой и среднемесячной скорости ветра и применимы для разработки моделей ВПВ на территории ОЭС Юга на площадках, где среднемноголетняя скорость ветра на высоте 10 м находится в диапазоне от 3,8 м/с до 5,2 м/с.

Литература

1. **Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В.** Ветроэнергетика // Москва: МЭИ, 2016.

Я.А. Кирюхин, студ.; рук. А.Н. Макеев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Океан является богатым источником энергии. Он является накопителем энергии солнечного излучения, отражает результат гравитации космических тел и водных масс, проявляющегося в виде приливов и отливов, а также представляет собственное тепло планеты.

Океаны занимают более 70% поверхности Земли и активно поглощают солнечной излучение, что делает их самыми эффективными и надежными системами аккумуляции тепловой энергии. Средняя доступная разница температур в 20°C между поверхностными и глубинными слоями позволяет создать стандартный термодинамический цикл для нагрева и охлаждения рабочей жидкости. Таким образом, теплота океанов является доступным и постоянным источником возобновляемой энергии, которая может быть использована для различных целей.

С учетом обозначенного потенциала возможно применение термоэлектрических генераторов, которые могут использовать такую небольшую разницу температур для непосредственной генерации электрической энергии. Теоретический анализ показывает, что строительство таких крупномасштабных океанических электростанций на основе термоэлектрических элементов вполне осуществимо и экономически конкурентоспособно [1].

Принципиальная схема простейшей термоэлектрической океанической станции содержит энергетический модуль, представляющий собой рекуперативный теплообменный аппарат, поверхность разграничения жидких теплоносителей которого выполнена в виде термоэлектрического генератора, и два насоса, позволяющих подавать поверхностную горячую воду и глубинную холодную воду к поверхности их теплообмена [2].

Предложено техническое решение, которое позволяет избавиться от второго насоса для подачи поверхностной горячей воды за счет использования потенциала импульсной циркуляции холодной воды, что позволит значительно снизить затраты на собственные нужды для океанической термоэлектрической станции, а также повысить эффективность генерации электроэнергии за счет интенсификации теплообменных процессов относительно поверхностей термоэлектрического генератора. Подана заявка на изобретение Российской Федерации № 2023125339 от 03.10.2023 на имя ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Liu L.** Feasibility of large-scale power plants based on thermoelectric effects // *New J. Phys.* 2014. Vol. 16.
2. **Jayadev T., Benson D., Bohn M.** Thermoelectric OTEC. 1979.

Д.А. Кузнецов, студ.;
рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «РАСЧЕТ ВЫРАБОТКИ СОЛНЕЧНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ (СФЭМ)»

Одной из проблем при проектировании солнечных электрических станций (СЭС) на различных этапах является обработка большого количества статистических данных. В данной работе ставилась задача разработки программного комплекса, способного выполнять гелиоэнергетические расчеты на основе открытых источников данных, в качестве которого была выбрана база данных БД «Nasa SSE». Программы-аналоги имеют свои преимущества, но общим для них недостатком является отсутствие рядов среднечасовой мощности СФЭМ, необходимого при проектировании системных и автономных СЭС, который был устранен при разработке данного программного комплекса. Также при его разработке были учтены следующие требования: простота и интуитивность в работе, наглядность пользовательского интерфейса; возможность получения исходных данных из открытых источников и ввода данных, полученных пользователем из других источников; наличие процедур, как ручного, так и автоматического ввода.

В программном комплексе реализованы следующие задачи: извлечение данных из информационного источника; гелиоэнергетический расчет и выбор расчетного года; определение оптимального угла наклона СФЭМ; моделирование ряда среднечасовых данных по солнечной радиации (СР) с горизонтальной приемной площадки на произвольно ориентированную приемную площадку; моделирование ряда среднечасовой рабочей мощности СФЭМ на произвольно ориентированную приемную площадку с учетом и без учета температуры; расчёт выработки единичного СФЭМ для заданных условий. В данной работе выбрана БД «Nasa SSE», в которой приводятся данные по компьютерным моделям.

Верификация программного комплекса проводилась на примере 10-и эксплуатируемых СЭС на территории РФ. В результате расчетов было установлено, что относительные отклонения суммарного прихода СР на оптимально ориентированные площадки СЭС и их годовые выработки, рассчитанные по разработанному программному комплексу, не превышают 10% от фактических на площадках эксплуатируемых 10-и СЭС, что подтверждает достоверность данных БД «Nasa SSE» и верифицирует методику программного комплекса.

Литература

1. Сайт «The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov>

В.С. Монин, студ., А.А. Чепига, асп.;
рук. С.В. Петренко, д.т.н., проф.
(ПАО «НПО «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина», Москва)

РАЗРАБОТКА ВТОРИЧНОГО ИСТОЧНИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В современных электростанциях, имеющих нестандартные источники питания, такие как ВИЭ, аккумуляторные батареи и другие, применяют преобразователи постоянного напряжения (DC/DC), задача которых — создать стабильное напряжение уровня, необходимого для питания сетевого инвертора [1]. Так, например, он может являться важным элементом преобразовательного комплекса автономного источника электроэнергии на базе ветрогенератора.

В установках с прямым приводом генератора и преобразованием электроэнергии скорость вращения генератора зависит от разности раскручивающего момента и моментом сопротивления на валу генератора [1]. Для генерации электроэнергии с максимальным КПД во всем диапазоне нагрузок необходимо управлять скоростью вращения вала генератора. Эту функцию выполняет преобразователь генератора. Управляя моментом на валу генератора и поддерживая заданную скорость, он обеспечивает заряд конденсатора в звене постоянного тока.

Напряжение на этом конденсаторе стабилизируется в зависимости от режима работы установки сетевым или аккумуляторным преобразователем. Напряжение в звене постоянного тока стабилизируется на необходимом уровне двунаправленным преобразователем аккумулятора, а преобразователь сети формирует требуемое выходное напряжение (например, 220/380 В, 50 Гц). Преобразователь аккумулятора находится в буфере и помогает обеспечить баланс мощности в динамике. Если энергии потребляется больше, чем вырабатывается — он разряжается, а если наоборот — то заряжается.

В данной работе был спроектирован DC/DC преобразователь для питания вторичных потребителей автономной ветровой электростанции, с трансформаторной развязкой и мягким переключением (с использованием 70% отечественной элементной базы), а также разработан алгоритм управления, который позволил снизить динамические потери в ключах.

Литература

1. **B. Zhao, Q. Song, W. Liu and Y. Sun**, “Overview of Dual-Active-Bridge Isolated Bidirectional DC–DC Converter for High-Frequency-Link Power-Conversion System,” in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 8, pp. 4091–4106, Aug. 2014, doi: 10.1109/TPEL.2013.2289913.

М.М. Мусиенко, студ.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУХОСЕВОГО ШАРНИРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

На основе разработанной ранее машинно-аппаратной части гидропривода, состоящего из двух поворотных гидродвигателей, был сконструирован двухосевой шарнир. Двигатели расположены в разных плоскостях для обеспечения вращательного движения по вертикали и горизонтали. Создана математическая модель, описывающая движение данной машины с учетом особенностей гидравлических механизмов. При математическом моделировании применялись общие теоремы механики, законы Ньютона. В докладе представлены дифференциальные уравнения, описывающие движения конструкции в двух плоскостях, составлены уравнения Лагранжа II рода. Составлена функциональная схема. Трехфазный асинхронный двигатель получает напряжение сети U_H и вращает вал объемного насоса 1, в данном случае насос и двигатель рассматриваются как единый технический объект. Давление, создаваемое насосом в гидросистеме P_H . Функция регулирования осуществляется с помощью золотникового гидрораспределителя с электромагнитным управлением 2, давление, подаваемое на гидродвигатель, P_1 используется для поворота выходного звена объемного поворотного гидродвигателя 3. Выходное звено гидродвигателя поворачивается на заданный угол x_3 , на вращение реагирует инерциальный измерительный модуль, который подает сигнал на сумматор отрицательной обратной связи. На сумматор также подается электрический сигнал x_r , содержащий в себе информацию о том, на какой угол следует повернуть выходное звено. Разница между сигналами Δx_3 передается на ПИД-регулятор 4, который подает управляющее воздействие U_3 на золотник 2.

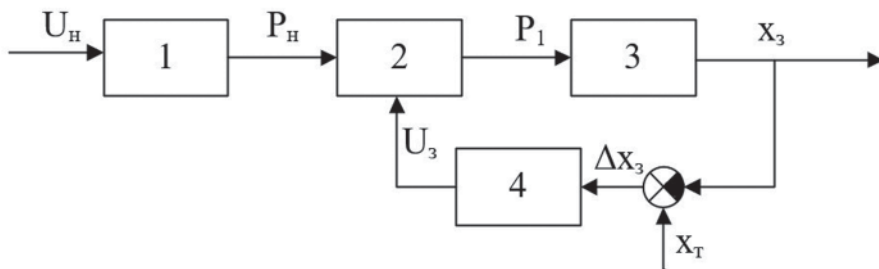


Рис. 1. Функциональная схема гидропривода

М.А. Айдаров, асп.;
рук. Ю.Е. Николаев, д.т.н., проф. (СГТУ, Саратов)

ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ВЗС В СОСТАВ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ГПУ-ТЭЦ

В последние годы ведущими экономиками мира ведется активная работа по снижению выбросов углекислого газа. Развитые страны пытаются заменить ископаемое топливо и связанные с ним технологии в секторах с наибольшими выбросами вредных веществ на водород, полученный низкоэмиссионными способами. Так, по прогнозам Международного энергетического агентства, к 2050 году потребление водорода различными отраслями экономики может составить порядка 275 млн. т/год, где наибольшие темпы роста ожидаются в транспортном и энергетическом секторах [1].

Однако при больших объемах производства водорода остро встает вопрос снижения стоимости водорода и минимизации эмиссии вредных веществ при его производстве. Существующие способы отдельного производства водорода, такие как электролиз и паровая конверсия метана, не позволяют одновременно решить эти задачи.

Решить эти вопросы можно посредством комбинирования электролизного производства водорода на базе ВИЭ и когенерационного производства тепла и электроэнергии, например, на базе газопоршневых установок (ГПУ) и фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [2]. Такой подход позволяет, с одной стороны, повысить топливную экономичность ГПУ за счет разгрузки генераторов при использовании избыточной электроэнергии ФЭП, а с другой — снизить стоимость отпускаемого водорода, обеспечивая при этом приемлемые технико-экономические показатели энергокомплекса в целом.

Так интеграция электролизной водородной заправочной станции (ВЗС), вырабатывающей водород на базе ФЭП мощностью 1,5 МВт, в состав мини-ТЭЦ ГПУ мощностью 8,2 МВт, позволяет отпускать водород стоимостью 480 руб./кг. При этом, срок окупаемости такого энергокомплекса составляет около 8–9 лет, что позволяет проекту оставаться рентабельным.

Литература

1. **International Energy Agency (IEA)** — Global Hydrogen Review 2023, September, 2023. — p. 176.
2. **Айдаров, М.А.** Гибридные мини-ТЭЦ на базе газопоршневых двигателей и фотоэлектрических преобразователей как один из способов реализации инфраструктуры для водородного транспорта / М.А. Айдаров // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей — Волгоград: ВолгГТУ, 2023. — С. 328–330.

*А.Р. Ганиев, Ш. Чэнь, студенты; М.О. Шейкин, асп.;
рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСОСА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В ГИДРОПЕРЕДАЧЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Объемные гидромашины пользуются огромным спросом в различных отраслях промышленности (гидроэнергетика, ветроэнергетика, металлургия, станкостроение и др.) за счет ряда своих достоинств, одним из которых является регулируемость. Именно регулируемые гидромашины стоит использовать в гидропередаче ВЭУ для обеспечения высокой эффективности ВЭУ.

Наиболее эффективным способом регулирования поршневых насосов является технология цифрового управления (DDP). Компания Artemis Intelligent провела сравнение КПД различных типов управления гидромашин при полной и частичной нагрузках. Значения КПД гидромашин с цифровым управлением при полной нагрузке и стандартных аксиально-поршневых гидромашин находятся примерно на одном уровне. Однако, в условиях частичной нагрузки ни одна из сравниваемых гидромашин не способна достичь КПД, как у гидромашин с цифровым управлением [1]. Это отличие является ключевым достоинством гидромашин DDP.

Наиболее значимым проектом, в котором использовались гидромашины с цифровым управлением — гидропередача ВЭУ от компании Mitsubishi Heavy Industries. Прототип морской ветроустановки мощностью 7 МВт, в которой механическая трансмиссия заменена гидравлической, полностью расположенной в гондole ветроустановки.

Известны случаи использования DDP в строительной технике. Так, британская компания Aschourt тестирует систему на DDP на двадцатитонных экскаваторах Volvo EC200.

Литература

1. **Henrik Clemmensen Pedersen**, Per Johanson Control of a Digital Displacement Pump: [Электронный ресурс]. URL file:///C:/Users/79870/Downloads/Control_of_a_Digital_Displacement_Pump.pdf (дата обращения 01.11.2023).
2. **Fluidpowerjournal.com** научно-технический журнал: [Электронный ресурс]. URL <https://fluidpowerjournal.com/digital-displacement-pumps/> (дата обращения 01.11.2023).
3. **Rapp J., Turesson J.** Hydrostatic Transmission in Wind Turbines: [Электронный ресурс]. URL <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:851478/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 01.11.2023).

М.О. Шейкин, асп.; рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СКОЛЬЗЯЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Пневматические приводы с дискретными клапанами представляют собой эффективное и экономически выгодное решение для позиционных систем [1]. Они используют недорогие дискретные распределители, которые имеют только два состояния — открытое и закрытое. Это позволяет улучшить энергоэффективность за счет снижения дросселирования рабочей среды. Однако, при таком исполнении невозможно применить непрерывные законы управления, в частности традиционно ПИД-регулирование. В таких системах требуется адаптация алгоритмов под релейное управление или использование уже специальных алгоритмов управления.

Существует несколько основных методов управления пневматическими приводами с дискретными клапанами. Первый метод — управление при помощи широко-импульсной модуляции (ШИМ) — приближает систему к непрерывному управлению, но по сравнению с пропорциональными приводами имеет низкую надежность. Это связано с необходимостью частых переключений клапанов для достижения высокой точности позиционирования.

Второй метод — управление в скользящих режимах — позволяет системе переключаться между различными структурами пневматического привода, обеспечивая скольжение по заданной траектории до целевой позиции. Однако этот метод, в силу наличия гистерезиса у соленоидов, также может породить отрицательное явление называемое «shuttering» [2], характеризующееся частыми переключениями в окрестности поверхности скольжения, что так же отрицательно сказывается на надежности системы.

При синтезе регулятора скользящего режима важно правильно определить поверхность скольжения и последовательность изменения структур пневматического привода. Основная цель — сохранить положительные характеристики каждой структуры и обеспечить эффективное функционирование системы в целом.

Литература

1. **Nguyen T., Leavitt J., Jabbari F., Bobrow J.E.**, Accurate sliding-mode control of pneumatic systems using low-cost solenoid valves // *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 12, no. 2, pp. 216–219, 2007.
2. **Hodgson S., Minh-Quyen L., Tavakoli M.**, Sliding-Mode Control of Nonlinear Discrete-Input Pneumatic Actuators // *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent*, 2011.

А.В. Филатов, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СПИРАЛЬНЫХ ОТВОДОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ДЛЯ НАСОСОВ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Одним из основных элементов проточной части лопастных насосов является отвод. Известны различные типы данных устройств. Для многих конструкций наиболее эффективным является применение спирального отвода.

Расчет спиральных отводов фактически сводится к получению кривой спирали, а также формы сечений на определенных углах, взаимосвязанных между собой ввиду необходимости пропускания определенного расхода. При этом известно множество работ посвященных как разработке методик расчета, так и оптимизации геометрии под конкретные требуемые параметры [1, 2]. Однако часто выбор формы сечения основывается на аналогах или традиционных подходах для различных типов насосов. В связи с этим имеется необходимость получения обобщенных рекомендаций по применимости.

Для решения поставленной задачи при постоянной частоте вращения выбраны пары расхода и напора, распространенных в гидромашиностроении, и соответствующие различной быстроходности насосов в известном диапазоне по классификации. По традиционной методике [3] проводится расчет и построение спирального отвода. Также для каждой рассматриваемой быстроходности для увеличения области исследования рассматриваются различные вариации напора и расхода.

В результате по факту рассмотрения прямоугольного сечения были сформированы расчётные модели спиральных отводов и проанализированы возможности их применения. Также выделены ключевые параметры, влияющие на применимость. Дополнительно определено, что при изменении корневой ширины спирали можно получить требуемое сечение и в насосах нормальной быстроходности.

Литература

1. **Ломакин А.А.** Центробежные и осевые насосы. Л., «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1966. — 358 с.
2. **Михайлов А.К., Малюшенко В.В.** Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М., «Машиностроение» 1977. — 288 с.
3. **Johann Friedrich Gülich** Centrifugal Pumps Fourth Edition., Springer Cham, 2020. — 1264 с.

*А.А. Зузов, студ. (НИУ МГСУ, НИУ «МЭИ»);
рук. М.П. Саинов, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЭС ФЁДОРОВСКОГО ГИДРОУЗЛА

22 апреля 2022 г. произошло разрушение Фёдоровского гидроузла на реке Кубань — русловой водосбросной плотины и рыбоподъёмника. Так как Фёдоровский гидроузел имеет важное значение для продовольственной безопасности России, планируется его восстановление в кратчайшие сроки. Разрушенный гидроузел выполнял функцию подпора уровней, необходимых для ирригационного водозабора, сбросы реки Кубань осуществлялись холостыми. Нами предлагается использовать их для выработки электроэнергии путём строительства гидроэлектростанции. Установленная мощность такой ГЭС может составить 5,8 МВт.

Нами разработаны принципиальные конструктивные решения гидротехнических сооружений восстанавливаемого гидроузла. Рассмотрены два варианта компоновки новых сооружений гидроузла, произведено их технико-экономическое сравнение.

Первый предложенный вариант компоновки заключается в расположении сооружений гидроузла в старом русле реки, расположенном на правом берегу, за сохранившейся земляной плотиной. Это позволит осуществлять строительство без отвода реки из русла. Современное русло будет перекрыто земляной плотиной.

Второй вариант компоновки состоит в расположении сооружений гидроузла в современном русле реки. Бетонная водосливная плотина и здание ГЭС будут расположены ниже по течению от разрушенных сооружений. Этот вариант предполагает временное отведение в старое русло реки, расположенное на правом берегу. Пропуск строительных расходов осуществляется переливом через частично разобранную и земляную плотину.

В ходе приближённого технико-экономического сравнения оказалось, что стоимость первого варианта дешевле всего на 100 млн. руб., и составила 2,5 млрд. руб.

Оценка экономической эффективности включения в состав низконапорного гидроузла нового руслового здания ГЭС показала, что рентабельность ГЭС составит примерно 9,2%.

Литература

1. **Саинов М.П., Зузов А.А.** Временная плотина Фёдоровского гидроузла. В книге: Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства. Сборник тезисов докладов VI Всероссийского научно-практического семинара. Москва, 2023. С. 77–78.

*С.В. Айневтегин, студ.; рук. М.Л. Артемьева, ст. преп.
(Чукотский филиал СВФУ, Анадырь)*

ПЕРЕНОСНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОТ РАЗНИЦЫ ТЕМПЕРАТУР

В настоящее время кочевой народ, живущий на Крайнем Севере Якутии и Чукотки, в частности оленеводы, в качестве источника электроэнергии используют переносные генераторы на бензине и дизеле. Данные устройства характеризуются своей дороговизной и требуют топлива, а также не малыми габаритами. Переносить генератор по тундре является не простой задачей [1].

Нами предлагается альтернативное устройство для питания электроэнергией приемников в бытовых нуждах кочевых жителей. Устройство состоит из емкости и труб. В емкость заливается вода и ставится на очаг (костер). Вода в емкости нагревается и превращается в пар и в дальнейшем циркулирует по трубам. На другом конце труб закреплен вторая емкость меньшего размера, где устанавливаются элементы Пельтье (ТЭГ). Термоэлектрогенераторы со стороны емкости будут нагреваться, а с другой стороны от окружающего воздуха получать отрицательную температуру. В следствии разницы температур будет генерироваться электроэнергия посредством эффекта Зеебека около 15 В.

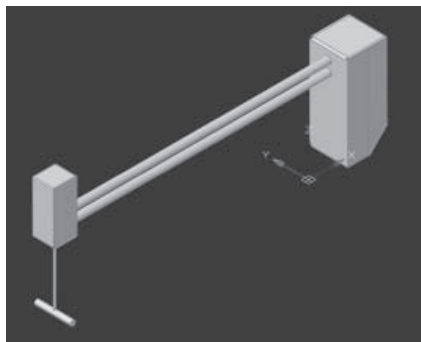


Рис. 1. 3D модель термоэлектрогенератора



Рис. 2. Расположение термоэлектрогенератора в яранге и конструкция яранги

Литература

1. **Васильев П.Ф., Корякина М.Л., Солдатов С.Н., Егоров В.Н.** Перспективы применения термоэлектрических генераторов в электро- и теплоэнергетических системах Республики Саха (Якутия) // Каротажник. — 2018. — № 11(293). — С. 125–132.

А.П. Иванюшина, студ.;
рук. А.В. Волков, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАО «МОСЭНЕРГО» НА ПРИМЕРЕ СЭ-2500-180

Сетевые насосы обеспечивают один из важнейших технологических циклов функционирования ТЭЦ — обеспечение потребителя сетевой водой для отопления и горячего водоснабжения. Особенностью работы сетевых насосов является том, что рабочая точка определяется переменной характеристикой гидросистемы.

При модернизации насоса СЭ 2500-180 важно уделить внимание оптимизации проточной части, так как это влияет на:

1. Кавитационные свойства насоса;
2. Коэффициент полезного действия;
3. Надёжность и срок службы.

Эксплуатация лопастного насоса в нерасчетных режимах может привести к ряду проблем, которые негативно сказываются на его работоспособности и качестве работы. В частности, это может вызвать кавитацию, то есть образование пузырьков вакуума в жидкости из-за снижения давления ниже давления насыщенных паров. Это, в свою очередь, может привести к снижению эффективности насоса, увеличению шума, вибрации и даже повреждению лопаток насоса.

На основе произведенных расчетов можно сделать вывод, что при уменьшении ширины колеса на выходе меридианной проекции рабочего колеса должно улучшить его кавитационные характеристики, КПД и надежность.

Литература

1. **Михайлов А.К., Малюшенко В.В.** Лопастные насосы / Михайлов А.К., Малюшенко В.В. — Москва: Машиностроение, 1977 — 288 с.
2. **Панкратов С.Н.** Насосы и насосное оборудование ТЭС: назначение, классификация, условия работы, характеристики и конструкции насосов / С.Н. Панкратов. — Москва: МЭИ, 2008.

А. Михальчук, студ.; рук. М.П. Саинов, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

О КАМБАРАТИНСКОЙ ГЭС-1

Камбаратинская ГЭС-1 — это нереализованный проект строительства на реке Нарын (Кыргызстан) ГЭС установленной мощностью 1,8–1,9 ГВт. Проект строительства рассматривается с 1960-х годов, но первая попытка его реализации была предпринята в 1986 г.

На стадии технико-экономического обоснования рассматривались несколько вариантов проекта. В качестве основного был принят вариант с каменно-набросной плотиной, возводимой методом направленного взрыва. Т.к. плотина — сверхвысокая (высота 275 м), требовался очень мощный взрыв. Требовалось 247 тысяч тонн взрывчатки. Это на порядок больше, чем мощность бомбы, сброшенной на Хиросиму (20 тыс. тонн). Из-за проблем с финансированием в 1993 году строительные работы были остановлены.

В XXI веке был осуществлён проект Камбаратинской ГЭС-2, ниже по течению от створа Камбаратинской ГЭС-1. В 2009 г. для возведения плотины этой ГЭС был выполнен направленный взрыв (2,9 тыс.т), однако в 2010 г. потребовалось осуществить ещё один взрыв [1].

Это продемонстрировало недостатки варианта с плотиной, возводимой методом направленного взрыва. Поэтому в 2013 г. был представлен новый вариант проекта Камбаратинской ГЭС-1, предусматривающий строительство каменно-набросной плотины высотой 256 м. Проект начала реализовываться в 2012 г. и в настоящее время находится на начальной стадии строительства. Стоимость строительства оценивается в \$2,9 млрд.

В рамках выпускной квалификационной работы нами рассматривается вариант Камбаратинской ГЭС-1 с арочной плотиной из укатанного бетона. Этот вариант обладает рядом преимуществ. 1) Упрощается пропуск воды в период строительства и эксплуатации. За счёт обжатого профиля плотины не требуется длинных строительных туннелей. 2) Уменьшается длина деривации и, соответственно, потери напора в энергетических водоводах.

Литература

1. **Торгоев И.А., Жанчаров Ж.У., Айдаралиев Б., Оморов Б., Черикчиев К.** Геофизический мониторинг плотины Камбаратинской ГЭС-2 // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. 2012. № 3. С. 262–268.

*М.А. Бирюлин, К.Е. Денисов, аспиранты;
рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОВШОВОЙ ГЭС/ГАЭС С ПОМОЩЬЮ СТРУЙНОГО НАСОСА

Ключевым элементом направляющего аппарата при регулировании ковшовой гидротурбины является игла, которая взаимодействует с потоком под высоким давлением. Для обеспечения работоспособности направляющий аппарат комплектуется пружиной, работающей на сжатие, а также дефлектором для предотвращения гидравлических ударов в аварийном режиме. Однако, известно, что увеличение числа деталей в механизме снижает его надежность.

В целях упрощения системы, обеспечивающие регулирование параметров ковшовой турбины, и как следствие повышения ее надежности, предлагается рассмотреть интеграцию струйного насоса в водовод гидротурбины (рис. 1), это позволит убрать подвижную иглу из направляющего аппарата и обеспечить регулирование мощности гидротурбины через изменение пассивного потока.

В качестве преимущества для ГАЭС можно выделить возможность увеличения продолжительности работы станции за счет сокращения расхода, подводимого от верхнего бьефа.

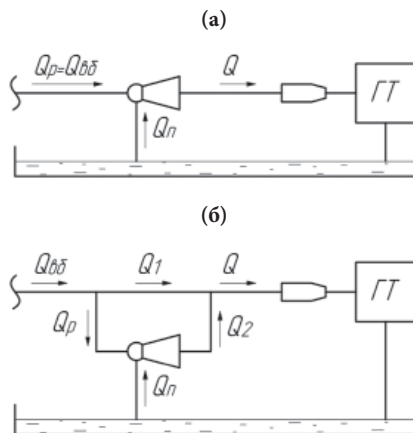


Рис. 1. Схемы включения:
последовательная (а); параллельная (б)

Литература

1. «Исследование поддержано Российским Научным Фондом (проект №23-29-00322, <https://rscf.ru/project/23-29-00322/>)»
2. «The research was supported by Russian Science Foundation (project No. 23-29-00322, <https://rscf.ru/project/23-29-00322/>)»

Н.С. Шуваев, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С РАСШИРЕННЫМ ВХОДОМ

Для улучшения кавитационных характеристик центробежных насосов (ЦН) используют техническое решение, связанное с увеличением диаметра рабочего колеса (РК) на входе. В методических указаниях [1] можно встретить рекомендацию по выбору коэффициентов приведенного диаметра k_0 , определяющего данную геометрию:

1. Если РК ЦН имеет большой кавитационный запас и/или кавитации при работе в нем полностью исключена, тогда k_0 рекомендуется назначать в диапазоне 3,3–3,7.
2. Если насос работает по I критическому режиму кавитации, то рекомендуется k_0 брать в диапазоне 4,2–4,6. Причем большие значения коэффициента стоит рассматривать при наличии работы насоса при перегрузках.
3. Если насос работает по II критическому режиму кавитации, то рекомендуется k_0 рассматривать в диапазоне 4–6 (7) в зависимости от значения C_{II} .

Используя вышеуказанные коэффициенты, можно получать увеличенный приведенный диаметр рабочего колеса центробежного насоса, а соответственно и увеличенный диаметр входа РК.

На рисунке 1 можно показано изменение геометрии рабочего колеса насоса при увеличении входного диаметра.

Однако проблематика данной темы заключается в отсутствии методики проектирования и недостатке информации о том, как будет изменяться график меридианного сечения вдоль средней линии тока для рабочих колес центробежного насоса с расширенным входом. Другими словами, актуальной является задача согласования входа и выхода из РК ЦН с увеличенным входом с учетом обеспечения минимальных потерь.



Рис. 1. Схема расширения входа рабочего колеса центробежного насоса

Литература

1. Руднев С.С., Матвеев И.В. Методическое пособие по курсовому проектированию лопастных насосов, Москва 1974.

*Е.В. Миронова, Д.С. Курилова, студенты;
рук. М.Л. Артемьева, ст. преп.
(Чукотский филиал СВФУ, г. Анадырь)*

МОБИЛЬНЫЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОР В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Кочевые народы живут в отдалении от централизованных энергетических сетей, что представляет проблему для использования электроэнергии. Гелиоэнергетика неэффективна из-за низкой продолжительности солнечного сияния на Чукотке (менее 1700 часов в год). Наиболее эффективным источником является ветроэнергетика. Согласно данным Атласа ветров России [1], высокий ветропотенциал наблюдается в прибрежных зонах Тихого и Арктического океанов. Поэтому нами предлагается новая конструкция мобильного ветрогенератора для частного использования кочевыми народами Арктики.

Принцип работы предлагаемого устройства: трубка Вентури 3 увеличивает скорость потока воздуха, создавая зону сниженного давления, что приводит к усилению потока. Устройство захватывает потоки воздуха, направляя их через трубку Вентури 3. Увеличение скорости потока воздуха в трубке Вентури 3 приводит к понижению давления, что в свою очередь активизирует лопасти 2. Это движение лопастей, в свою очередь, запускает вращение ротора генератора 1, преобразуя механическую энергию ротора в электрическую энергию.

Таким образом, предложенная новая конструкция ветрогенератора будет экономически выгоднее по сравнению с существующими установками, по конструктивной части он будет более надежен.

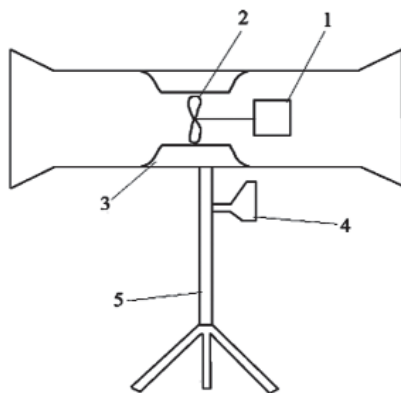


Рис. 1. Схема устройства мобильного ветрогенератора

Литература

1. **А.Н. Старков.** Атлас ветров России // А.Н. Старков, Л. Ландберг, П.П. Безруких, М.М. Борисенко; М-во топлива и энергетики России, Нац. лаб. Рисо (Дания), Рос.-Дат. ин-т энергоэффективности — М.: Можайск-Терра, 2000, — 551 с.

А.И. Глазов, студ.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМАХ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ



Рис. 1. Неструктурированная тетраэдральная сетка проточной части струйного элемента

полученных конструкций, проводится их CFD анализ, который поможет определить целесообразность выбора геометрических параметров струйных элементов.

В качестве рассматриваемых элементов струйной техники были выбраны струйные распределители, выполняющие логическую функцию ИЛИ-НЕ ИЛИ [2]. На рисунке 1, неструктурированная тетраэдральная сетка, дискретного элемента для получения полей скорости и полей давления в рабочей зоне.

Полученная модель может использоваться для вычисления характеристик потоковых процессов.

Литература

1. **Лебедев И.В., Трешкунов С.Л., Яковенко В.С.** Элементы струйной автоматики. М. Машиностроение, 1973. 360 с.
2. **Чаплыгин Э.И.**, Отраслевой каталог Струйные логические элементы и устройства автоматического управления технологическим оборудованием. Щербинка ВНИИТЭМРа, 1989. — 66 с.

К.Е. Денисов, асп.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ ГИДРОМУФТЫ

Регулируемые гидравлические муфты являются сложными техническими устройствами, проектирование которых требует использования различных расчетных подходов и аналитических методик. При проектировании новой гидромуфты важно представлять её теоретическую внешнюю характеристику, которую возможно получить путём проведения виртуального эксперимента или физического, с изготовлением полноразмерной модели или её подобного аналога меньших размеров.

Постановка задачи для проведения виртуального эксперимента выглядит следующим образом. Рассчитываются два вращающихся с разными угловыми частотами тела, между которыми установлено граничное условие переходного интерфейса. В качестве рабочей среды указывается гидравлическое масло, а также вторая фаза — воздух, для расчета характеристики гидромуфты при частичных заполнениях.

В результате проведения ряда расчетов было получено семейство кривых — зависимостей мощности ведомого (турбинного) вала N , МВт от скольжения s (отношения частот вращений ведущего и ведомого валов) при различных заполнениях маслом рабочей камеры гидромуфты V (рисунок 1).

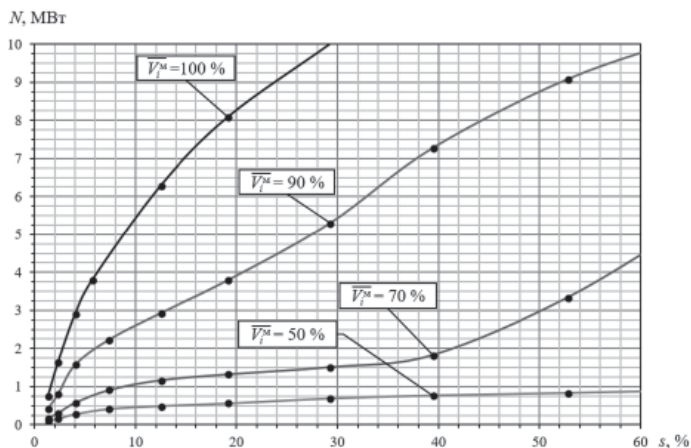


Рис. 1. Расчетные внешние характеристики гидромуфты при различных заполнениях проточной части

К.Е. Денисов, асп.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ АДАПТИВНЫХ ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ РАБОЧИХ КОЛЁС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Центробежные насосы повсеместно используются в промышленности для перекачки различных жидкостей. Преимуществом центробежных насосов является их универсальность в области обеспечения практически любых подач и напоров, однако, не всегда удаётся достигать высоких значений энергоэффективности во всём рабочем диапазоне отдельно взятого агрегата. Таким образом, возможны случаи, когда агрегат работает вне своего оптимального режима довольно ощутимую часть своего срока эксплуатации.

С целью расширения зоны энергоэффективности центробежных насосов в настоящее время прорабатывается идея адаптивных лопастных систем суть которой заключается в том, чтобы определённым образом изменять геометрию лопасти, что позволит добиться лучшей гидродинамики в проточной части рабочего колеса в расширенном диапазоне за счет правильных углов натекания потока на лопасть и её выхода из рабочего колеса. В свою очередь это улучшит общие показатели насосного агрегата. Для достижения данной цели на текущем этапе прорабатываются наиболее оптимальные состояния лопастной системы на примере конкретного насоса, соответствующие различным рабочим точкам. Для этого используются различные подходы, включая CFD в сочетании с методами оптимизации. Исходя из сопоставления различных геометрий предполагается получить представление о том каким именно образом должна менять свой облик лопастная решётка при изменении режима работы.

Исходя из вышеописанного, дальнейшим этапом является проработка кинематики лопастей для возможности изменения их формы непосредственно во время работы. На данном этапе обеспечение их подвижности предполагается с помощью поворота лопасти или её частей относительно определённой заранее точки, либо же, при невозможности такого исполнения кинематики, рассматривается способ набора лопастей из магнитных сегментов, перемещение которых будет выполняться за счет своего одноименного свойства, как это реализовано в магнитных муфтах.

Предполагается, что описанная модификация рабочего колеса позволит добавить возможность регулирования или саморегулирования центробежного насосного агрегата, что позволит увеличить его энергоэффективность во всём рабочем диапазоне, за исключением оптимума.

Л.М. Хайнак, студ.; рук. А.В. Астафьев, к.т.н. (ТюмГУ, г. Тюмень)

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ БИОМАССЫ НА ВЫХОД ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА

Актуальной проблемой человечества на сегодняшний день является усиление парникового эффекта и изменение климата планеты. Значительное количество парниковых газов относится к энергетическому сектору и выделяется при добыче, транспортировке и сжигании традиционных ископаемых топлив. Решения проблемы можно достичь за счет вовлечения в топливно-энергетический баланс возобновляемых ресурсов углерод-нейтральной биомассы. Кроме того, использование биомассы для получения энергии позволит решить экологическую проблему, связанную с накоплением отходов. Например, деятельность птицеводческих предприятий связана с образованием большого количества куриного помета, относящегося к третьему классу опасных веществ [1]. В связи с этим его использование в исходном виде для нужд сельского хозяйства запрещено и возникает необходимость термического обезвреживания. Эффективным методом является пиролиз, позволяющий получить ценные твердые, жидкие и газообразные продукты.

Стоит отметить, что влажность куриного помета может достигать 70% [2], что вызывает необходимость дополнительного подвода энергии для его сушки перед осуществлением термической переработки. В связи с этим, в данной работе рассмотрено влияние влажности куриного помета с птицефабрики Пышминская (Тюменская область) на материальный баланс пиролитической переработки. Полученные результаты показывают, что влажность исходного сырья оказывает влияние на количественное распределение продуктов медленного пиролиза. Отмечено снижение выхода смолы в 2,5 раза у влажного помета в исходном виде относительно помета, доведенного до воздушно-сухого состояния. При этом смола является побочным продуктом пиролиза в отличие от углеродистого остатка (биоугля), относящегося к целевому продукту, выход которого составил более 38%.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 23-79-01296).

Литература

1. **Теучеж А.А.** Применение птичьего помета в качестве органического удобрения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 128. — С. 914–931.
2. **Пискаева А.И.** Анализ способов переработки сельскохозяйственных органических отходов на примере куриного помета // *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. — 2016. — № 4 (12). — С. 2.

Направление XIII

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

**Special issues of the electric power
industry**

Руководитель направления:

Доцент кафедры

электроэнергетических систем

к.т.н., доцент

Насыров Ринат Ришатович

Секция 61

ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН

Industrial and media design

Председатель секции:

к. ф. н., доцент Панкратова Александра Владимировна

Секретарь секции: Чахеева Екатерина Ивановна

У.Д. Кузнецова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТИЛЬ РОКОКО И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

В современном мире не каждый стиль из прошлого, например, из XVIII века, сможет нормально и спокойно существовать. На это имеется множество причин, некоторые из них: непонимание стиля современным человеком, неактуальность стиля или его исчерпанность.

В данной статье мы хотим рассмотреть именно стиль XVIII века рококо, и как он себя показывает в современном дизайне. Рококо впервые возник во Франции. Для него характерен пышный декор и просто невероятное множество узоров, отражающих элементы природы.

В настоящее время, как и раньше, стиль чаще всего проявляет себя именно в интерьере, правда, на сегодняшний день рококо почти не используется, а если и используется, то обязательно в сочетании с другими стилями. В таких условиях рококо лишается своих детализированных узоров, переходя на более простые и спокойные.

В современном рококо допускаются: нежные пастельные цвета, иногда более простые интерьеры с использованием только черного и белого цвета, также дизайнеры любят добавлять и яркие цвета, но не так часто. Часто добавляют золотистый цвет, подчеркивающий что-либо в интерьере. Современный рококо к тому же встречается и в одежде, пусть и не столь часто, как в интерьере. От одежды французского стиля, которая характеризовалась пышностью и обилием декоративных деталей, включающих в себя банты, ленты пастельных цветов, кружев, современная отличается не таким богатым декором. Как и раньше, особое предпочтение отдаётся голубому и розовому или другим не менее нежным оттенкам. Самое главное условие в одежде современного рококо — это придать платью легкость и воздушность. В этом и заключается основная идея. Самый яркий пример одежды стиля рококо за последние время это коллекция Dior Haute Couture осень-зима 2007/08. Джон Гальяно идеально передал суть современного Рококо в своих нарядах.

Из этого можно сделать вывод, что на сегодняшний день рококо медленно погибает, дизайнеры не используют его в чистом виде. Стиль потихоньку отказывается от большого количества деталей, переходя на более простые формы. Но при этом он отлично сохраняет свою главную идею легкости.

Д.В. Шмырева, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОТГОЛОСКИ РОМАНСКОГО СТИЛЯ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

В современном дизайне редко можно заметить употребление романского стиля, ведь он немного специфичен. Романский стиль — это замки, храмы и крепости, с толстыми стенами, высокими сводами, широкими колоннами, которые отражают мощь и суровость. Рассмотрим, как отголоски романского стиля проявляются в современном дизайне.

В наши дни архитектура в романском стиле, это прежде всего, загородные дома, вилы и, как правило, они напоминают средневековый замок. Дома будут величественны, основательны и практичны. На смену натуральному камню в современном мире приходит кирпич. Декоративные элементы сводятся к минимуму, все строго, просто. Сохраняются апсиды и башни с переходами, а также неотъемлемой и узнаваемой частью романского стиля является крыша, многоскатная, имеющая сложную форму. Окна и двери остаются такие же, как и в романском стиле: неширокие, удлиненной формы, прямоугольные или арочные. Дома, выполненные в данном стиле, должны обладать цветовой палитрой, приближенной к природной, то есть, такие цвета, как каменисто-серый, глинисто-бежевый оттенок, пепельно-коричневый или серо-зелёный.

Что касается интерьера в романском стиле, он отличается мощью форм, четкостью линий. Все предметы в помещении массивны, декоративные украшения практически отсутствуют. Преобладают арки, колонны, потолки сводами. Используют грубую мебель, исключительно из натуральных материалов, она должна быть проста и функциональна. Возможно также использование паркета в темных тонах. В прихожей, кухне и ванной комнате можно уложить черно-белую плитку в шахматном порядке, или с геометрическим орнаментом.

В современном дизайне одежды этот стиль можно увидеть благодаря характерным его особенностям. Черты стиля: контрастные цвета, многослойность одежды, красивая отделка, и обязательно должен быть пояс, а также плащи и накидки — важный элемент романского стиля. Современным дизайнерам особенно приглянулся свободный фасон. Например, лёгкий сарафан из льна в пол — яркий пример практичного наряда в романском стиле. Модернизируя идеи романского стиля, дизайнеры стараются немного отойти от присущего ему аскетизма.

Таким образом, проанализировав данный стиль, мы видим, что какие-то элементы все равно присутствуют в современном дизайне. В постройках, интерьере и одежде уместно будут сочетаться новые достижения с некоторыми элементами, присущими романскому стилю.

А.М. Дарчинян, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕМАТИКА ДРЕВНЕГО РИМА В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Одним из главных качеств дизайнера является его «насмотренность». Это означает множество походов в музеи, на выставки и форумы. Многие творцы, работая над своими проектами, ссылаются на произведения Древнего Рима.

Использование темы Древнего Рима в современном интерьере. Римскому стилю в интерьере присущи итальянские арки на дверях и окнах, ручная настенная роспись, высокие потолочные своды и многое другое, что показывает роскошь и величие. Изюминкой интерьера, выполненного в римском стиле, можно считать колонны и полуколонны. Цветовая гамма не менее важна. Лучше всего использовать светлые оттенки, например, белый или бежевый. Для того чтобы интерьер передавал всю роскошь Древнего Рима, используется золотая гамма. Акцентом могут служить коричневые, бордовые или синие тона. Декор является неотъемлемой частью любого интерьера. Римскому стилю свойственно наличие античных голов, шторы с ламбрекенами, прихватами-кисточками, хрустальные люстры, бра с имитацией свечей, стеклянные вазы, напольные вазы с изображением древнеримских сюжетов и т.д.

Использование темы Древнего Рима в современной архитектуре. Архитектура в римском стиле отличается симметрией, использованием ордеров, арок, сводов и куполов. Используются кирпичи и камни для строительства стен, арок, колонн, полов. Мрамор, как дорогой материал, употребляется гораздо реже.

Одежда народа Древнего Рима и её отражение в современном мире. В Древнем Риме люди уделяли много внимания внешнему виду. В Древнем Риме люди носили тоги и туники. Тог носились в особенных случаях. Они являлись национальной одеждой и способом показать свое гражданское положение. В современном мире мы также можем наблюдать одежду, которая берет свои истоки из Древнего Рима. Однако она претерпела достаточно сильные изменения. Например, в современном мире есть туники, чья длина доходит до середины бедра. Также современным переосмыслением древнеримской одежды являются длинные свободные майки или футболки без рукавов.

Таким образом, проанализировав данный стиль, мы можем с уверенностью сказать, что некоторые элементы прошлого присутствуют в современном дизайне. В сооружениях, интерьере и одежде присутствуют проблески темы Древнего Рима, которые делают дизайн интереснее и ярче.

П.О. Акимова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГОТИКА И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Готика возникла в период развития средневекового искусства и пришла на смену романскому стилю. В данной статье посмотрим, где мы можем встретить готический стиль в современном дизайне.

Первым, что хотелось бы рассмотреть — готика в современной архитектуре. Основной материал в строительстве — натуральный камень, который можно заменить на имитирующих панелях. Окна больших размеров, вытянутые и стрельчатой формы, украшенные витражами. Также имеется множество арок, полуарок и кованые элементы, украшающие фасады и крыши. Используемая цветовая гамма состоит из темных приглушенных тонов, а контраст создается при помощи витражей в светлых оттенках.

Дальше рассмотрим, как отображается готика в дизайне современного интерьера. Сейчас, как известно, почти невозможно встретить данный стиль в чистом виде, но дизайнеры начали использовать некоторые элементы готики. Здесь мы видим огромные окна, витражи и большое количество цвета. В качестве отделки используют натуральную древесину и разнообразные виды камня. Идеальным материалом считается мрамор, но сейчас его можно легко заменить на декоративную имитацию. На стенах нас встречают гобелены и картины в тяжелых рамах. Мебель чаще всего делается на заказ, она массивная, но в то же время утонченная и элегантная.

В современной одежде мы тоже можем встретить готику, для стиля характерно использование черного цвета, а также красного насыщенных и темных оттенков. Наряды выполнены из кружева, шелка, бархата и кожи, обувь на высокой, грубой подошве. Для девушек характерны платья, юбки, корсеты и плащи, сапоги на каблуке. Парни больше предпочитают кожаные штаны, рубашки, плащи и балахоны.

На удивление, мы можем встретить готический стиль и в графическом дизайне, для него характерны мифические сюжеты и линейные построения, состоящие из динамичности изображения и из широкой цветовой гаммы, возможно добавление золотого цвета. Отличительный признак — символы, химеры, пауки, кресты, символы смерти и жизни.

В заключение хотелось бы сказать, что не важно сколько времени пройдет, сколько эпох сменится, стили прошлых времен все равно будут оказывать влияние на современность. Искусство с добавлением готики становится прекрасным, загадочным и мифическим.

А.Е. Степанова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕМЫ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ НА СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН

Искусство и архитектура Древней Греции оказывает огромное влияние на современный мир. Древняя Греция заложила культурный фундамент, без которого не было бы той реальности, которую мы видим сейчас. Но не только культура подверглась этому влиянию: дизайн во всех его проявлениях также претерпел изменения, в результате чего появился греческий стиль, как в графическом дизайне, так и в интерьере. В этой статье мы рассмотрим влияние Древней Греции на современный дизайн, и какие элементы из древнегреческой эстетики используются в современных проектах.

Разберем несколько примеров. Искусство Древней Греции повлияло на множество отраслей, в частности, на моду. Одежда античности отличается легкостью, элегантностью и удобством. В современном мире эти критерии важны, поэтому мода предоставляет множество вариантов в античном стиле. К примеру, свободные длинные платья на манер хитона. Архитектура Древней Греции также оставила след в истории: колонны до сих пор используются в большинстве строений, а некоторые даже могут поставить их в квартиру или дом в качестве декора. Архитекторы часто прибегают к постройке арок и сводов, которые тоже пришли из Древней Греции.

Если рассматривать отдельно дизайн интерьера в греческом стиле, можно выделить несколько особенностей: светлые цвета, хотя считается, что греки отдавали предпочтение ярким краскам, например красная охра, орнаментика и узоры (переплетение растений, фруктов, птиц и необычных существ). Главное, что объединяет архитектуру и дизайн интерьера — идея гармонии и пропорциональности. Керамика также играет значительную роль в древнегреческом предметном мире и продолжает влиять на современный дизайн. Греческие вазы и амфоры известны своими элегантными формами и декоративными элементами. Эти мотивы используются современными дизайнерами для создания фигурок, ваз, и других предметов интерьера.

В графическом дизайне также можно увидеть отголоски античности. Например, когда дизайнер упрощает изображение, делая его более плоским.

В целом, влияние древней Греции на современный дизайн очевидно. Использование элементов греческой эстетики, таких как пропорции, колонны, орнаментика и формы, добавляют элегантности и классического шарма в современные интерьеры и экстерьеры.

*О.В. Маскевич, студ. ;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ЭПОХИ ДРЕВНЕГО ЕГИПТА НА СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН

В наши дни можно встретить множество видов архитектуры, интерьера, фресок и техник из разных эпох. Будь то греческие колонны, или архитектура Эпохи Возрождения — все они повлияли очень сильно на наш современный мир, но хотелось бы остановиться на эпохе, которая прославлена своей загадочностью, равносильно скульптур и выразительной архитектурой. В данной статье мы поговорим о Древнем Египте и о том, как же он все-таки повлиял на наш современный дизайн и что оставил после себя.

Одно из наиболее очевидных проявлений влияния Древнего Египта на современный дизайн — это использование египетских мотивов и символов в интерьерном дизайне. Фигуры с головой сфинкса, изображения пирамид и иероглифических письменностей — все эти элементы часто встречаются в интерьерах современном интерьере. Они создают атмосферу старого загадочного Египта и добавляют изысканности и экзотичности внутреннему пространству.

Также эпоха Древнего Египта оказывает влияние на архитектурный дизайн. Очень известный египетский мотив — солнечные лучи. Яркий пример — Станция метро «Аэропорт» в городе Москва. Также египетские колонны и узоры стали появляться в современной архитектуре.

Кроме визуальных элементов, Древний Египет также оказывает влияние на современный дизайн через использование древних техник и материалов. Например, традиционные египетские красители, такие как черный и индиго, могут быть использованы в текстильном дизайне для создания аутентичных и экзотических моделей. Также характерные скульптуры и резьба из камня и дерева со времен Древнего Египта стали источником вдохновения для современных художников и ремесленников.

Наконец, Древний Египет оказывает влияние на современный дизайн через его символику и духовные ценности. Понятия баланса, гармонии и божественности, которые были очень важны в египетской культуре, находят свое отражение в современном дизайне. Множество дизайнеров стремятся создать пространства, которые приносят в жизнь эти понятия, создавая атмосферу спокойствия и равновесия.

Влияние эпохи Древнего Египта на современный дизайн трудно переоценить. Оно пронизывает различные аспекты нашей жизни, создавая уникальные и впечатляющие архитектурные сооружения, интерьеры и предметы искусства. Мифология, история и культура Древнего Египта продолжают вдохновлять и волновать нас и оставлять свой след на современном дизайне.

М.Д. Брехова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АМПИР В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Мы часто удивляемся, откуда в современном мире у дизайнеров так много новых креативных идей, как именно они создают их, и откуда берут основной материал. Интересно то, что многие прибегают к стилям «из прошлого». Это довольно распространенный факт, так как творчество основано на преобразовании предыдущих стилей. В данной научной статье рассмотрим, как именно стиль ампир проявляется в современном дизайне. Что такое Ампир? Ампир — это название стиля, который является завершающим этапом развития классицизма. Величественный, монументальный стиль стал художественным воплощением боевой мощи, славы и роскоши. В современной архитектуре довольно легко распознать ампир. На зданиях красуется множество дорических или ионических колонн, которые украшены листьями аканта, дубовыми листьями и многим другим. Также характерной особенностью становятся фризы, они применяются в основном для декора фасадов здания, показывая помпезность и славу. Они могут быть из любого материала, но при этом окрашены или позолочены. Фасады зданий в стиле ампир выполняют важную роль, они выполнены с элементами, символизирующими боевую мощь, славу. Используется много военной символики, например, изображения оружия или доспехов. В интерьере ампир проявляется похожим образом. В основном были украшены стены и потолки различными фресками, которые были посвящены военным сюжетам. Можно заметить элементы римских щитов, факелов, стрел, венков, орлов и львов. Также в интерьере в стиле ампир выделяются насыщенные цвета с преобладанием красного, синего, белого с золотым. Особенности черты в интерьере: четкость, строгость линий и пропорций, композиционная сдержанность и симметричность. Не стоит забывать, что ампир в современном мире проявляется и в прикладном искусстве. Чаще всего выделяется резьба по дереву на мебели, например, на больших бархатных или шелковых диванах и креслах. Присутствует много позолоченных элементов, узоров на различной мебели, которые играют важную роль в создании изысканного интерьера. Материалы, которые используются в современном дизайне, чтобы показать всю роскошь, величественность и помпезность ампира: мрамор, бронза, резьба по дереву, позолоченный материал.

Таким образом, стили из прошлого всегда будут популярны. Ампир подходит для современных государственных или коммерческих помещений или для жилых домов, чтобы придать ощущение величественности, изысканности и эффектности.

Ю.Д. Афанасьева, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕМЫ РЕНЕССАНСА НА СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН

Ренессанс — эпоха, прославленная своими культурными достижениями, включающая различные области искусства, науки и философии. Хотя это время прошло давно, его влияние до сих пор остается ощутимым в современном мире и, в частности, в дизайне. Многие элементы и принципы Ренессанса проявляются в современном дизайне, внося свой вклад в его эстетику и функциональность. Одним из важных аспектов Ренессанса является гармония и симметрия. Эти принципы были широко использованы в архитектуре, живописи и скульптуре того времени. В современном дизайне стиль Ренессанса оживает через явное стремление к балансу и симметрии в интерьерах и экстерьерах. Симметричные формы, уравновешенные композиции и равномерное распределение цвета и материалов — все это отражает влияние Ренессанса. Другим важным аспектом Ренессанса, нашедшим свое место в современном дизайне, является использование классических элементов и деталей. Резные деревянные элементы, колонны, арки и украшения подчеркивают привлекательность и изысканность современных интерьеров. Эти детали создают уникальный и элегантный облик, который отсылает к эпохе Ренессанса. Также стоит упомянуть использование драпировок и тканей в современном дизайне, которое мы можем проследить до Ренессанса. В то время ткань играла важную роль в домашнем декоре. В современном дизайне, драпировки и ткани также используются для создания атмосферы роскоши и комфорта. Кроме того, Ренессанс внес значительный вклад в развитие перспективы в искусстве и архитектуре. Этот принцип прорыва, воспринятый в эпоху Возрождения, был перенесен в современный дизайн. И, наконец, уделим внимание цветовой палитре. В Ренессансе краски играли важную роль в создании светотени и глубины. В современном дизайне использование палитры эпохи Возрождения может придать интерьеру особенную глубину и эффектность. Цвета, такие как коричневый, золотистый, красный и зеленый, создают элегантное и утонченное ощущение. Таким образом, тема Ренессанса является неотъемлемой частью современного дизайна. Через использование симметрии, классических элементов, драпировок, перспективы и цветовой палитры, дизайнеры перенимают эстетику Возрождения, давая своим проектам особый шарм и уникальность. Проявление темы Ренессанса в современном дизайне подчеркивает его вечные ценности и является ярким примером того, как идеалы могут жить сквозь время.

Д.К. Корганова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЯВЛЕНИЕ СТИЛЯ БАРОККО В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Искусство движется вперёд неумолимо, стили и направления чередой сменяют друг друга. Иногда новое направление идёт наперекор всему ранее созданному. Но, как правило, направления в искусстве меняются плавно, перетекая друг в друга, заимствуя какие-либо черты своего предшественника. А зачастую даже черты направления, казалось бы, ушедшего несколько веков назад. Давайте рассмотрим эту тенденцию на примере барокко. Барокко — стиль в европейском искусстве и архитектуре XVI–XVII веков, для которого характерно внимание к деталям, символы и аллегории, грандиозные композиции, гиперболизация, пышность, эмоциональность, а также изогнутые и витиеватые линии, обилие декора. Раньше этот стиль был показателем статусности и принадлежности к высшему свету. Также барокко довольно сложен в исполнении, так как грань между благородной роскошью и полным отсутствием вкуса слишком тонка, и современным дизайнерам приходится быть очень внимательными, чтобы интерьеры в стиле барокко выглядели стильно и благородно в пространстве обычной квартиры. Однако в современном мире широко используется смешение стилей, что значительно облегчает встраивание барокко в современную квартиру. Не стоит забывать и о проявлениях барокко в моде и дизайне одежды наших дней. Разумеется, современное барокко не повторяет моду XVII столетия в точности, однако некие элементы ушедшей эпохи, такие как: замысловатые узоры, сережки с водопадами подвесок, броши, украшения в виде связанных ленточек, сплетенных веток и цветочных композиций, россыпи огромных самоцветов все еще активно используются и по сей день. А использование парчи, бархата и обилие золотистых узоров — излюбленный прием современных модельеров. Графический дизайн получает все большую популярность в мире, но и он не устоял от воздействия барочного стиля. Пересечение геометрических форм и создание сложных пространств, сложные кривые линии и формы — все это признаки барокко. Что касается цвета — принято использовать довольно интенсивные тона: тёмно-зелёный, терракотовый, коричнево-зелёный, красно-бордовый. Основным цветовым акцентом остается золото, но не в чистом виде, а в сочетании с белым и оттенками бежевого.

Проанализировав особенности дизайна нашего времени, можно сделать вывод, что в современном мире до сих пор раздаются отголоски барокко. Самое широкое распространение этот стиль получил в дизайне интерьера, однако присутствует и активно используется он во всех направлениях современного дизайна.

М.И. Латыпова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОТСЫЛКИ К ВИЗАНТИЙСКОЙ СТИЛИСТИКЕ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

В данной статье рассматривается влияние стилистики Византии на современный дизайн. Византия — одна из самых загадочных и удивительных империй в мировой истории, оставившая глубокий след не только в политической, экономической и культурной жизни народов, но и в искусстве, архитектуре и, конечно же, дизайне. Характеризуется использованием богатых, теплых и насыщенных цветов, драгоценных материалов и деталей, атмосферой роскоши и величественности. До наших дней, в дизайне интерьеров сохранились такие приёмы, как: обшивка стен панелями из дерева, оштукатуривание каменной кладки, развешивание шелковых и других тканевых занавесок на арочные окна. Византийский стиль характеризуется использованием куполов, арок, сводов и мозаичных украшений. В отделке используют цветное стекло, а также полудрагоценные камни, серебряные или золотые изделия, чтобы дополнительно подчеркнуть роскошь. Для этого направления характерно украшение дверей и окон, а также ниш растительными узорами. Довольно часто встречаются и растительные орнаменты, объединяющие между собой восточную и римскую символику, например, оливковую ветвь. Интерьер в византийском стиле переполнен различными предметами для декора, такими как большие вазы из слоновой кости, растения, а также различная, как бы это ни было странно, кухонная утварь и подушки. Мебель массивна, украшена резьбой, позолотой и драгоценными камнями.

Из особенностей выделим расписанные стены и потолки, а также кладку полов камнем или деревянными досками. Византии присуще создания впечатления непобедимого замка или бастиона, с большим камином и колоннами, но в современном дизайне не всегда используются такие приемы. Для декорирования стен используют фактурную венецианскую штукатурку с эффектом состаривания. Современные дизайнеры для создания Византийского стиля прибегают к плитке с геометрическими узорами цилиндрической и кубической формы, зодиакальным кругам и рисункам. Также стоит отметить использование мозаики в интерьере, которая стала очень популярной в последние годы.

Вывод можно сделать таким: Византия была богатой и процветающей эпохой прошлого, которая оказала огромное влияние на развитие современного интерьера. Кроме того, золото и серебро продолжает использоваться в современности для создания роскоши и изыска, следовательно, — этот великолепный стиль продолжит жить в современном дизайне ещё очень долгое время.

*Э.А. Андриюшина, В.Е. Стальмакова,
В.Р. Жупаненко, студенты; рук. Е.В. Панкратова, к. филол. н., доц.
(ОГБПОУ «Смоленский педагогический колледж», Смоленск)*

ДИЗАЙН КАК ИНСТРУМЕНТ ОБУЧЕНИЯ

При обучении детей дошкольного возраста и младшего школьного возраста буквам и звукам русского языка достаточно часто используют карточки, с изображением на них букв. При этом изображение на карточке должно вызывать у ребёнка ассоциации со звуком. Дизайн карточек в данном случае должен быть привлекателен и интересен, чтобы детям захотелось рассмотреть рисунки, и они запомнились. То есть разработка яркого, интересного набора карточек напрямую связано с эффективностью обучения детей. Таким набором наглядных пособий для обучения детей дошкольного возраста и младших классов буквам и звукам русского языка может стать «Птичий алфавит». Он включает в себя карточки, которые помогут ученикам запомнить начертание букв и научиться соотносить их с определёнными звуками. Также карточки должны создать у детей ассоциации с характеристиками звуков: гласных, сонорных, звонких, глухих, твёрдых, мягких, дать начальные представления о парности и непарности звуков. В наборе карточек «Птичий алфавит» название каждой птицы начинается с той буквы, которую она изображает. Дополнительные изображения на карточках должны вызывать ассоциацию с твёрдостью или мягкостью звука, с которого начинается название птицы. У одних птиц клюв открыт, то есть они как бы поют. Это должно условно показать, что звук, который обозначает буква, гласный, сонорный или звонкий. У других птиц клюв закрыт. Это значит, что карточка изображает глухой звук.

Приведём примеры. Буква «В»: за основу была взята одна из самых распространенных птиц — воробей. На карточке изображен сидящий воробей, уже само очертание и название птицы говорит о букве, которую она представляет. В данном варианте буква «В» обозначает твердый звук. Представление о твёрдости звука условно изображают камни, на которых сидит птица. Клюв воробья слегка приоткрыт, это означает, что буква обозначает собой звонкий звук. Для изучения мягкого звука [в'] за основу взята такая птица как вьюнок. Данная птица изображена в сидячем положении, то есть по очертаниям тоже похожа на букву «В». Но в отличие от предыдущей карточки она обозначает мягкий звук [в'], так как находится уже в облаках, что как бы говорит о ее смягчении. Клюв птицы слегка приоткрыт, что говорит о ее звонкости.

Таким образом, дизайн карточек способствует помимо изучения звуков и букв запоминанию названий птиц.

Секция 62

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Electric power in the military

Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович

Секретарь секции: Силаев Дмитрий Александрович

П.А. Беляев, студ.;
рук. Д.А. Силаев, зам. нач. ВУЦ (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ В СИСТЕМАХ (ОБОРУДОВАНИИ) ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В последние десятилетия мировое сообщество сталкивается с увеличивающейся потребностью в процессорах в различных сферах. Одним из ключевых факторов в решении этих проблем является развитие инновационных процессоров и их использование в соответствующих областях. Мною рассмотрены вызовы и перспективы использования отечественных процессоров.

Использование отечественных процессоров, которые могут быть непосредственно применены в системах (оборудовании) вооружения и военной техники Российской Федерации:

- **Повышение эффективности:** Отечественные процессоры позволяют оптимизировать работу систем, улучшая контроль и управление процессами.
- **Обеспечение надежности:** Локализация производства процессоров позволяет создавать более надежные системы с меньшей вероятностью сбоев и отказов. Это особенно важно для обеспечения непрерывности работы систем (оборудования) вооружения и военной техники как в основной работе, так и в аварийных режимах.
- **Снижение зависимости:** Использование отечественных процессоров помогает сократить зависимость от импортных технологий и компонентов. Это способствует безопасности и снижает риски, связанные с изменениями в политической и экономической сферах.

Использование отечественных процессоров в системах (оборудовании) вооружения и военной техники:

- **Защита информации:** Отечественные процессоры могут быть специально разработаны с учетом требований к безопасности и защите информации. Это важно, где конфиденциальность и целостность данных играют решающую роль.

- Увеличение автономии: Применение отечественных процессоров позволяет сократить зависимость от иностранных поставщиков и контролировать от начала производства и до реализации полного жизненного цикла систем (оборудования) вооружения и военной техники.
- Снижение потенциальных рисков: Использование отечественных процессоров уменьшает риски, связанные с злоумышленным использованием иностранных компонентов, что может угрожать национальной безопасности.

Таким образом, использование отечественных процессоров в системах (оборудования) вооружения и военной техники Министерства обороны Российской Федерации представляет собой перспективную возможность для укрепления технологической независимости и обеспечения безопасности. Однако, для полноценной реализации этого потенциала необходимо преодолеть несколько сложных вызовов. Развитие инфраструктуры, обеспечение безопасности, технологичности и производства, а также развитие технического потенциала и обучение — вот ключевые факторы, которые позволят успешно внедрить инновационные процессоры и обеспечить их эффективное использование.

Литература

1. Очерки истории российской электроники: периодический научно-технический и исторический сборник / под ред. Б.М. Малашевича. М.: Техносфера, 2009. Вып. 5: 50 лет отечественной микроэлектронике. Краткие основы и история развития. М.: Техносфера, 2013. 799 с.
2. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус» — Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г. — СПб.: Питер, 2013 — 272 с.

Секция 63

ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО СТУДЕНТОВ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Technical creativity of students of secondary vocational education

Председатель секции:

Файрушин Николай Исакович – директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково – Конаковского энергетического колледжа

Секретарь секции: Клюева Людмила Вадимовна

П.А. Прокопов, Н.А. Государев, студенты;

рук. С.Н. Золина (Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Конаково)

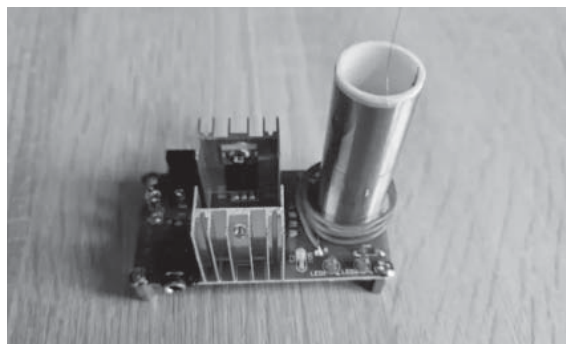
МУЗЫКАЛЬНАЯ КАТУШКА ТЕСЛА

Актуальность данной темы состоит в исследовании катушки Тесла и её возможностей, а также практическом применении теоретических знаний при самостоятельном изготовлении демонстрационного прибора «Музыкальная катушка Тесла».

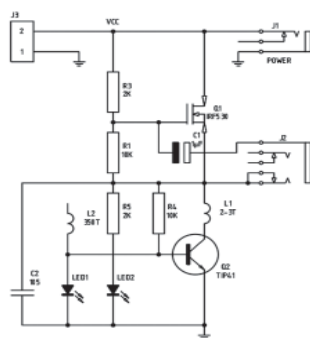
Принцип действия прибора основан на использовании резонанса стоячих электромагнитных волн в катушке. Прибор способен усиливать и воспроизводить воспринимаемые слухом звуковые колебания от подключенного к нему источника звука.

Прибор «Музыкальная катушка» изготовлен студентами филиала МЭИ-КЭК. Схема и внешний вид прибора представлены ниже.

В результате работы над темой «Музыкальная катушка Тесла» были с успехом применены теоретические знания для изготовления своими руками демонстрационного прибора. «Музыкальная Катушка Тесла» — это не только научный инструмент, но и источник вдохновения для любителей науки и техники.



(а)



(б)

Рис. 1. Музыкальная катушка (а) и её схема (б)

Литература

1. Калашников Э.Г. Электричество. Изд. «Наука», Москва, 1977.

Секция 64

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Electric power industry of Central Asia

Председатель секции:

к. т. н. Ниёзи Сироджиддин Ражаббоки — начальник управления науки и инновации при Министерстве образования и науки Республики Таджикистан

Секретарь секции:

к. т. н. Исмоилов Фирдавс Олимшоевич — зав. кафедрой «Электроснабжение» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими

Дж. Б. Бойматов, студ.; рук. Ш. Дж. Джураев, к. т. н. (ДФ НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Исследования показателей качества электроэнергии (КЭ) в выпрямительных установках (ВУ) имеют огромное значение для обеспечения нормальной работы электрических сетях. Повышенное или недостаточное напряжение, скачки в частоте, перерывы в электроснабжении, несимметрия и гармоники могут привести к серьезным повреждениям оборудования и снижению производительности. Поэтому проведение таких исследований является критически важным для рационального использования энергии, оптимизации производства и обеспечения бесперебойной работы технологических систем.

Одним из основных требования к синусоидальному напряжению является форма кривоуго изменения, что большинству случаев отличается от синусоиды. Гармоники, создаваемые несинусоидальными составляющими тока или напряжения, также могут оказать влияние на работу оборудования. Их уровень также подвергается исследованиям с целью управления, снижения их воздействия на систему. Основные источники гармонических составляющих тока и напряжения в электрических сетях являются ВУ. Они преобразуют переменный ток в постоянный, обеспечивая эффективную работу электротехнического оборудования.

Существуют различные методы для проведения исследований КЭ. Например, мониторинг — установка анализаторов и измерительных приборов для непрерывного контроля показателей напряжения, тока, частоты и гармоник. Другой метод — проведение испытаний и анализ данных в лабораторных условиях для оценки работоспособности ВУ и другого оборудования. Также активно развиваются методы математического и компьютерного моделирования для предсказания изменений в работе системы электроснабжения.

Последние исследования показали, что улучшение КЭ в ВУ существенно снижает операционные затраты и повышает надежность электроснабжения. Отчеты об исследованиях оказывают влияние на разработку новых стандартов и нормативов, направленных на повышение КЭ и обеспечение надежной работы ВУ.

Таким образом, исследования показателей КЭ в ВУ играют важную роль в обеспечении надежной и эффективной работы электротехнических систем. Они позволяют выявить проблемные моменты, улучшить работу системы и сэкономить ресурсы, что способствует устойчивому развитию и экономической эффективности промышленных и технологических процессов.

А.Д. Джураев, студ.;
рук. Х.С. Саидзода, к.т.н., доцент
(ТТУ имени академика М.С. Осими)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОСТОЧНОГО ВЫСОКОГОРНОГО МУРГАБА

В работе определен принцип электроснабжения восточного высокогорного Мургаба с использованием генерирующих источников, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии. Проведен расчет электрических нагрузок по выбранному методу в соответствии с суточным (дневным и вечерним) графиком электрических нагрузок. На основе этих данных для более нагрузочного режима определено годовое потребление электроэнергии. Рассчитаны энергетические характеристики, вырабатываемые выбранными ветроэнергетическими и солнечными фотоэлектрическими установками [1, 2]. Рассмотрены два варианта ветроустановок различной установленной мощности для разработки конфигураций схем электроснабжения поселения на их основе и дальнейшего проведения их сравнительного анализа и выбора наиболее эффективного. Рассчитаны энергетические характеристики, вырабатываемые выбранными ВЭУ, в том числе для различных скоростей ветра, на основании параметров ветра, таких как: мощность ветрового потока, количество градаций (диапазонов) повторяемости скоростей ветра, средней скорости j -ой градации (интервала) и повторяемости скоростей ветра диапазона. Полученные данные показали, что расчетная годовая выработка электроэнергии одной ВЭУ мощностью 150 кВт составляет 377 994,0 кВт·ч, что меньше величины годового электропотребления 500 800 кВт·ч. В этой связи для обеспечения рассматриваемой группы потребителей необходимым количеством электроэнергии было установлена два ВЭУ по 150 кВт. При этом годовая выработка электроэнергии составила 755 988 кВт·ч, что превышает необходимую величину электропотребления на 33%. Также предложен метод расчета энергетических характеристик для солнечных фотоэлектрических установок.

Литература

1. **Саидзода, Х.С.** Возможность использования возобновляемых источников энергии для системы электроснабжения сельских потребителей в Республике Таджикистан / Х.С. Саидзода, Ф.О. Исмоилов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2022. — № 4(60). — С. 15–23.
2. **Сангов, Х.С.** Применение солнечных фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельских потребителей (На примере удаленных регионов Республики Таджикистан) / Х.С. Сангов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2020. — № 4(52). — С. 30–38.

Д.Х. Одиназода, студ.;
рук. Х.С. Саидзода, к.т.н., доцент
(ТТУ имени академика М.С. Осими)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ СОЛНЦА В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В работе проведен анализ с точки зрения эффективности применения солнечной энергии в регионах Республики Таджикистан (РТ). Определены необходимые исходные данные солнечного излучения и выполнен расчет основных показателей солнечной радиации. Величина суммарной энергии солнечного излучения, высокая доля прямого солнечного излучения и продолжительности солнечного сияния создают благоприятные условия для использования солнечной радиации в РТ [1, 2, 3].

Приведенные климатические характеристики и проведенные расчёты позволяют сделать следующие выводы об использовании солнечной энергетики в Республике Таджикистан, в частности, в Файзабадском районе, и утверждать об эффективности и перспективности развития данной отрасли:

1. Суммарная энергия солнечного излучения, приходящая на горизонтальную к поверхности Земли приемную площадку, составляет 1348 кВт·ч/(м² год), что почти соответствует значению перспективных условий развития солнечной энергетики;
2. Высокая доля прямого солнечного излучения, составляющая 61,3% от суммарного солнечного излучения, что также близко к значениям перспективных условий развития солнечной энергетики;
3. Показатель суммарного месячного солнечного излучения летом в среднем составляет 189 600 Вт/м², зимой — 35 300 Вт/м².
4. Максимальный среднемесячный часовой приход солнечной радиации составляет 780 Вт·ч/м², а продолжительность солнечного сияния колеблется от 4320–4464 часов.

Литература

1. **Саидзода, Х.С.** Возможность использования возобновляемых источников энергии для системы электроснабжения сельских потребителей в Республике Таджикистан / Х.С. Саидзода, Ф.О. Исмоилов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2022. — № 4(60). — С. 15–23.
2. **Сангов, Х.С.** Применение солнечных фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельских потребителей (На примере удаленных регионов Республики Таджикистан) / Х.С. Сангов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2020. — № 4(52). — С. 30–38.
3. Economic efficiency of using a windmill for supplying power to remote rural consumers in the Republic of Tajikistan / K.S. Sangov, S.A. Tsyruk, D.V. Mikheev [et al.] // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, Saint Petersburg — Moscow, 28–30 января 2019 года. — Saint Petersburg — Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. — P. 1047–1053. — DOI 10.1109/ElConRus.2019.8657122.

М.Д. Давлатов, студ.;

рук. Дж.Б. Рахимов, к.т.н., доц. (ТТУ имени М.С. Осими, Душанбе)

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Приборы учета электрической энергии — это разнообразные электрические счетчики, позволяющие определять расход потребленной энергии, как на производстве, так и в быту. За последние годы в сфере технологии счетчиков произошли значительные прогрессивные изменения, открывая новую эру эффективности, точности и удобства.

Традиционные электроэнергетические счетчики, также известные как электро-механические счетчики, являлись основой учета энергии утилитарных компаний на протяжении десятилетий. Эти счетчики работали с помощью вращающихся дисков или шкал для измерения и регистрации энергопотребления.

В настоящее время в традиционные счетчики заменяются новыми электронными счетчиками, которые также называют «умными счетчиками». Общая схема работы следующая: прибор фиксирует объем потребленной электроэнергии, накапливает данные по расходу и передает эту информацию в систему учёта. Термин «умный счетчик» может обозначать как устройство, выполняющее все эти функции, так и совокупность устройств, решающих задачи раздельно.

Умные счетчики предоставляют пользователям и утилитарным компаниям возможность мониторинга энергопотребления в режиме реального времени. Кроме того, утилитарные компании могут удаленно получать доступ к данным счетчиков, упрощая процессы биллинга и уменьшая необходимость ручного считывания показаний. Умные счетчики облегчают внедрение моделей ценообразования в зависимости от времени, при которых тарифы на электроэнергию меняются в зависимости от уровня спроса в течение дня.

Умные счётчики способствуют продвижению энергоэффективности. Они точно измеряют расход электроэнергии и предоставляют информацию потребителям в режиме реального времени. Выставление счетов автоматизировано, и потребители оплачивают за электроэнергию наперёд. Потребители могут видеть свое энергопотребление на дисплее интеллектуального счетчика. Это стимулирует их к правильному планированию бюджета.

Литература

1. **Ворогницкий В.Э., Комкова Е.В., Туркина О.В., Апрыткин В.Н.** Методы и средства выявления безучетного потребления электрической энергии при наличии приборов учета. Москва, 2005 — С. 19–22.
2. **Микропроцессорные счетчики электроэнергии, Лебедев В.И., 2017 — С. 155–160.**

*Saidov M., student; director F.O. Ismoilov, Ph.D., Associate Professor
(TTU named after academician M.S. Osimi)*

TRANSFER OF URBAN AND AGRICULTURAL DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN TO A NOMINAL VOLTAGE OF 20KV

The distribution electric networks of urban and rural use of the electrical system of Tajikistan are mainly made with a voltage of 6 and 10 kV. At the same time, the voltage of 6 kV is gradually replaced by a voltage of 10 kV. The predominant distribution in distribution networks has a voltage of 10 kV, 6 kV networks are used when enterprises are heavily loaded with electric motors with a rated voltage of 6 kV [1] [2].

Currently, many new industrial, urban and rural facilities are being built in our country. Along with this, a partial reconstruction of the existing electrical networks of individual parts of the electrical system is also being carried out. It is quite obvious that cable and overhead power transmission lines with a voltage of 6 (10) kV, existing in most industrial enterprises and cities, cannot cope with the increased load and in many cases are physically worn out. [2]

Therefore, in this work, a study was conducted, the purpose of which was to identify the possibilities of using a voltage of 20 kV as the nominal voltage of the distribution networks of the electrical system of Tajikistan and to evaluate the effectiveness of its application. The efficiency of using a rated voltage of 20 kV was evaluated in comparison with the most common rated voltage of the distribution network — 10 kV. [1]

According to the results of a comparative calculation for the conditions of our country, it was found that the option of supplying electricity to a consumer with a nominal voltage of 20 kV will be approximately 1.75 times cheaper than the option with a nominal voltage of 10 kV. This figure will increase if we consider the trend of rising electricity prices and an increase in load density in the country. The use of 20 kV voltage in urban electric networks for the electrification of new territories is certainly considered economically advantageous. An increase in the cost of electricity and an increase in load density increases the advantage of a voltage of 20 kV [2]. In electric networks with a load density of less than 54.5 kW/km², a voltage of 10 kV is economically feasible. With a load density of more than 55-58 kW/km², it is economically efficient to use a voltage of 20 kV.

Literature

1. **Цыганенко Б.В.** Перспективы перевода распределительных сетей Украины на номинальное напряжение 20 кВ. ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА / Наукові праці ВНТУ, 2016, № 1.
2. **Nazaruddin, et al** 2020, "Reliability Analysis of 20 KV Electric Power Distribution System", IOP Conference Series: Material Science and Engineering, IOP Publishing.

*М.Ш. Раджабов, док. PhD.; Б. Сулаймонов, студ.;
рук. Ш.М. Султонов, к.т.н., доц.
(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе)*

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В ТАДЖИКИСТАНЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БУДУЩЕГО

За последние два десятилетия мировое производство электроэнергии увеличилось более чем вдвое, а спрос электроэнергии во всем мире быстро растет по мере того, как экономическое развитие распространяется на страны с формирующейся рыночной экономикой. Таким образом, технические, экономические и экологические преимущества гидроэнергетики делают ее важным вкладчиком в будущее мирового энергетического баланса, особенно в развивающихся странах. Этот документ рассматривает стратегии удовлетворения растущего спроса на энергию и электричество для устойчивого развития энергетики в Таджикистане. Общий валовой гидроэнергетический потенциал Таджикистана составляет 527 ГВт*ч/год, но только 21 ГВт*ч/год от общего гидроэнергетического потенциала Таджикистана могут быть экономически использованы. Путем ввода в эксплуатацию новых строящихся гидроэлектростанций будет задействовано 36% экономически полезного потенциала. Общий экономически полезный потенциал малой гидроэнергетики Таджикистана составляет 3,75 ГВт*ч/год. Гидроэнергетика имеет обширный перечень положительных характеристик. Помимо выработки электроэнергии и эффективности, он имеет такие преимущества, как: защита от наводнений, регулирование потока, многократное использование, отказ от ископаемого топлива, длительный период амортизации, доход от адекватного тарифа на электроэнергию и низкие затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и замену. ГЭС часто превосходят другие электростанции с точки зрения социально-экономических и экологических соображений. Воздействие ГЭС на окружающую среду находится на самом низком уровне по сравнению с другими альтернативными ресурсами.

Принимая во внимание низкие эксплуатационные расходы гидроэнергетики, связанные с отсутствием расходов на топливо, гидроэлектростанции могут легко соответствовать требованиям нагрузки, имея при этом длительный срок службы и низкое воздействие на окружающую среду по сравнению с альтернативными источниками энергии. Кроме того, ГЭС с большими водохранилищами как в нашей стране, имеют многоцелевые преимущества и прибыльность.

Литература

1. ИНА, Международная ассоциация гидроэнергетики. Роль гидроэнергетики в устойчивом развитии. Официальный документ ИНА, февраль 2003 г., доступен по адресу / www.hydropower.org.

*И.Х. Махмудов, PhD; Х.И. Усмонов, соиск.;
рук. Ш.М. Султонов, к.т.н.
(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе)*

МОНИТОРИНГ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ГИДРОАГРЕГАТОВ

Проблемой современной энергетики является также создание эффективного контроля вибрационного состояния гидроагрегатов, находящихся в эксплуатации. Наиболее прогрессивным решением здесь является внедрение на ГЭС систем автоматической технической диагностики гидроагрегатов, которые позволяют выявлять дефекты и неисправности оборудования на ранней стадии их развития.

Генератор подвергается воздействию различных сил, включая центробежные и тепловые силы, вибрацию, магнитное и электрическое поле, геотехнические силы. Все перечисленные факторы могут оказать большое влияние на генератор и воздушный зазор в долгосрочной перспективе. Возможными причинами неравномерного воздушного зазора могут быть конструкция генератора, эксцентриситет, дисбаланс, деформация вала, механический износ некоторых деталей, неисправности в системе возбуждения или охлаждения, силы (гидравлические, механические, магнитные) и колебания температуры.

Измерения воздушного зазора используются для определения геометрического состояния выравнивания генератора. Основной принцип прост: ротор и статор генератора должны быть круглыми, отвесными и концентрическими. Обычно при вводе генератора в эксплуатацию воздушный зазор проверяется до окончательного закрытия агрегата перед запуском. В дополнение к этим измерениям в автономном режиме система онлайн-мониторинга обеспечивает измерения в режиме реального времени, пока машина находится в рабочем состоянии, предоставляя дополнительное преимущество наблюдения за тем, как устройство изменяется в зависимости от центробежных сил, температуры и магнитной нагрузки. Существует множество причин деформации воздушного зазора генератора. Строительные дефекты, дефекты проектирования часто выявляются при строительстве и вводе в эксплуатацию. Систему онлайн-мониторинга можно использовать для ввода агрегата в эксплуатацию, но она также позволяет обнаруживать проблемы, отсутствующие в период ввода в эксплуатацию. Одной из причин неисправностей воздушного зазора являются температурные изменения. Чтобы быть эффективной, система мониторинга должна обеспечивать обзор всего воздушного зазора генератора в любом рабочем состоянии машины.

Литература

1. **Мамиконянц Л.Г., Элькин Ю.М.** Обнаружение дефектов гидрогенераторов. — Москва Энергоатомиздат 1985.
2. **Непрерывный интегрированный онлайн-мониторинг гидрогенераторов Грег Стоун***, Младен Сасич, Блейк Ллойд Рэй Дженсен Айрис Пауэр, Торонто, Канада GE Energy, Минден, США. 2010 — 144 с.

*M.K. Kamoliddinzoda, student; director F.O. Ismoilov, Ph.D.,
Associate Professor (TTU named after academician M.S. Osimi)*

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN THE ELECTRICAL NETWORKS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

In industrial enterprises, the values of reactive loads of various technological lines, departments, workshops of industrial enterprises, as a rule, are more active. Here, the main consumers of reactive power are asynchronous motors, power transformers and converter units, which are widely used in industry. In this case, significant reactive power flows through each element of the electrical network. The concentration of reactive power production is in many cases economically impractical.

When solving the problem of reducing power losses and stabilizing the voltage level in the nodes of the power supply system, it becomes necessary to compensate for excessive reactive power.

The task of reactive power compensation includes the selection of rational sources, calculation and regulation of the power supply, their optimal placement in the nodes of the power supply system.

In this work, calculations were carried out to determine the main parameters of reactive power compensation, considering local conditions, and a recommendation was developed to relevant organizations dealing with reactive power compensation. In order to choose the most rational method of reactive power compensation in the workshop network, the in-shop power supply system of a typical workshop of the Textile Mill in Dushanbe was considered, for which several priority options were investigated [1]: a) there is no compensation; b) centralized compensation; c) group compensation; d) individual compensation.

During the study, the most optimal method of reactive power compensation was determined, the payback period of each method was determined depending on the voltage class and the number of connected electric receivers, and a recommendation was developed for correct and effective compensation of reactive power in the workshop power supply network [2].

Literature

1. Выбор оптимальных способов компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский, Н.В. Пономарев // Вестник КузГТУ. — 2011. — № 5. — С. 81–84.
2. <http://electricalschool.info/main/drugoe/1381-jekonomicheskaja-sushhnost-kompensacii.html>.

*Э.К. Шарипов, Ю.М. Курбонов, аспиранты;
рук. Дж.Б. Рахимов, к.т.н., доц. (ТТУ имени М.С. Осими, Душанбе)*

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЩИЙ НА РОСТ УРОВНЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Политика большинства стран мира, в том числе Республики Таджикистан (РТ), направлена на повышение уровня благосостояния населения. В РТ промышленная отрасль с каждым годом развивается путем ввода в эксплуатацию новых, а также модернизации и реконструкции существующих предприятий. Эти промышленные предприятия требуют большого количества электрической энергии. Для покрытия их потребности в электроэнергетических системах (ЭЭС) вводят новые крупные и малые электрические станции. При этом в ЭЭС не учитывается фактор роста уровней токов короткого замыкания. Параметры оборудования, установленного в электрических сетях энергосистемы, могут оказаться не скоординированными с уровнями токов короткого замыкания (КЗ), что приведет к росту аварийности и значительным затратам на восстановлении нормальной работы ЭЭС.

Анализ значений токов КЗ выполнен с помощью расчетной модели, которая была разработана на основе программного комплекса NEPLAN. Для верификации расчетной модели использовались результаты расчета токов КЗ в высоковольтных узлах ЭЭС РТ [1].

В данной исследовательской работе на примере ЭЭС РТ рассматривается способы ограничения уровней токов КЗ в узлах ЭЭС. В работе проанализировано соотношение уровней токов КЗ в узлах подключения электрических станций и на шинах подстанций с максимальными допустимыми токами по условиям отключающей способности высоковольтных выключателей (ВВ). Определена эффективность и экономичность применения малозатратных способов ограничения токов КЗ. Даются рекомендации по очередности замены ВВ, отключающая способность которых, в ближайшей перспективе с учетом полного ввода Рогунской ГЭС мощностью 3600 МВт, будет недостаточной для отключения коротких замыканий в развивающейся ЭЭС.

Результаты расчетов КЗ позволили определить перечень ВВ, установленных в электрических сетях, нуждающихся в замене при вводе новых мощностей в ЭЭС.

Литература

1. **Рахимов Дж.Б.** Расчет и анализ токов коротких замыканий в высоковольтных узлах электроэнергетической системы Республики Таджикистан // Политехнический Вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. № 1 (45). С. 35–40.

Секция 65

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ДОНБАССА

Special issues of the Donbass electric power industry

Председатель секции:

к.т.н., доцент Ткаченко Сергей Николаевич — заведующий кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

Секретарь секции:

к.т.н. Гуляева Ирина Борисовна — доцент кафедры «Электрические системы» ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

М.В. Складчиков, асп.; рук. П.И. Розкаряка, к.т.н., (ДонНТУ, Донецк)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Развитие нейронных сетей позволяет использовать их неоспоримые преимущества в различных сферах науки и техники для решения задач идентификации, диагностики, классификации и пр. Применение сверточных нейронных сетей для диагностики состояния электромеханических систем и идентификации их параметров открывает новые возможности для специалистов, занимающихся наладкой и эксплуатацией подобных систем [1]. Особенно это актуально для мониторинга трудноизмеримых сигналов или параметров объекта с использованием недорогих датчиков, которые, как правило, уже входят в состав систем управления электромеханическими объектами, что позволяет возложить на них кроме функций диагностики, еще и функции прогнозирования состояния электрических машин и силовых преобразователей.

В данной работе рассмотрен алгоритм работы сверточной нейронной сети для идентификации несимметрии параметров статорной обмотки асинхронного двигателя на базе математической модели. Для анализа и формирования базы использованы токи статора в нормальном состоянии и несимметрии в двух фазах. Следующий этап — обучение нейронной сети, далее — валидация, а затем — тестирование. Для создания архитектуры нейронной сети было использовано приложение Deep Network Designer.

Результаты проведенного моделирования подтвердили возможность применения сверточных нейронных сетей для идентификации простых неисправностей асинхронного двигателя. На следующих этапах планируется изучить эффективность поиска других неисправностей, связанных с механической природой их возникновения, например, отказ подшипника.

Литература

1. **Skowron, M.** Convolutional neural network-based stator current data-driven incipient stator fault diagnosis of inverter-fed induction motor / M. Skowron, T. Orłowska-Kowalska, M. Wolkiewicz, C. Kowalski. — Energies 2020. — p. 21.

М.К. Маренич, асп.;
рук. И.Б. Гуляева, к.т.н., доцент (ДонНТУ, Донецк)

ЁМКОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ КАК КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОПОРАЖАЮЩЕГО ФАКТОРА

Нестационарность электромеханического оборудования участка шахты предопределила заземление корпусов перемещаемых его компонентов посредством их соединения заземляющими (центральными) жилами гибких кабелей с заземлёнными корпусами магнитных пускателей. Сама структура шахтного гибкого экранированного кабеля предполагает охват центральной жилы проводящими экранами изоляции фазных проводников, а подключение этой жилы к земле — обуславливает появление ёмкостных проводимостей цепей «фаза — земля». В условиях применения кабелей значительных длин и сечений, ёмкостные проводимости изоляции сети создают условия возникновения электропоражающих уровней тока в цепи касания человеком фазного проводника.

Способом противодействия ёмкостному току в цепи утечки на землю следует считать применение средств его автокомпенсации на основе пропорциональной коррекции величины индуктивности компенсирующего дросселя. В связи с этим, актуален анализ эффективности защитной функции автокомпенсатора.

Такой анализ, выполненный на физической модели [1] в сети линейного напряжения 380 В, оснащённой схемой автокомпенсатора серийного аппарата АЗУР-1, позволил установить, что:

- автокомпенсация корректировкой индуктивности дросселя позволяет уменьшить ёмкостной ток в цепи его утечки на землю, в среднем, на 2/3 от исходного значения (при отсутствии компенсации);
- при ступенчатом изменении ёмкости изоляции сети перенастройка компенсатора сопровождается аperiodическим изменением амплитуды тока с колебательной составляющей изменения параметров экспоненты.

Количественные показатели процесса в пересчёте на сети напряжения 1140 В позволяют сделать вывод о целесообразности применения альтернативной концепции построения системы электроснабжения участка шахты, исключающей формирование ёмкостных токов в цепях «фаза-земля».

Литература

1. Денисова Е.В., Гуляева И.Б., Маренич М.К. Специфика заземления электрооборудования участка шахты в контексте соответствия критерию эффективности защиты персонала от электропоражения / Горная промышленность. Научно-техн. и производств. журнал №4/2022 — С. 116–124.

А.И. Денисова, асп.;
рук. К.Н. Маренич, д.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ — ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Условия эксплуатации электромеханического оборудования участков шахты отличаются стеснённостью пространства, повышенной влажностью, запылённостью. Нестационарность технологических установок обуславливает повышение вероятности повреждения изоляции кабелей электропитания. В результате повышается риск электропоражения человека при случайном касании к фазному проводнику электросети. Применяемые в структуре электротехнических комплексов угольных шахт аппараты защиты от утечек тока на землю осуществляют защитное отключение напряжения участковой электросети отделением от неё энергетического потока участковой трансформаторной подстанции.

Защитная функция при этом реализуется не в полной мере, т.к. электросеть остаётся под действием обратных ЭДС асинхронных двигателей потребителей, переходящих в режим выбега. Применение электроприводов высокого уровня мощности ведёт к увеличению продолжительности этой ЭДС, т.к. её постоянная времени пропорциональна индуктивности двигателя и обратно пропорциональна активному сопротивлению его обмоток.

Решением данной проблемы является создание электробезопасного асинхронного двигателя на основе дополнения его структуры:

- устройством выявления повреждения изоляции кабеля электропитания (узел 1);
- устройством коммутации схемы трёхфазного соединения обмоток статора, включая средства создания тормозного эффекта (узел 2).

Основу схемы узла 1 составляет R-C-VD-цепь, формирующая импульс тока в момент появления повышенной проводимости цепи «фаза — земля» [1], который служит управляющим сигналом для узла 2. Установлена возможность применения компактных средств коммутации, что позволяет ввести узел 1 и узел 2 непосредственно в структуру конструкции асинхронной электрической машины, обеспечив, тем самым, условия электробезопасности её эксплуатации.

Литература

1. **Маренич К.Н.** Электробезопасный рудничный асинхронный двигатель. Обоснование концептуального решения / К.Н.Маренич, А.И. Денисова // Вестник Донецкого национального технического университета. — 2022. — №3(29). — С. 27–35.

А.А. Сёмин, студ.;
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ ШАХТ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

На данный момент в России закрыты шахты в 50 из 75 шахтерских городов, которые находятся в 14 из 25 регионов страны. В каждом из этих городов существуют значительные объемы шахтной воды, которая имеет температуру от 18 до 23 °С. Эксперты оценивают объемы воды в затопленных шахтах России с постоянной круглогодичной температурой от 20 до 30 °С в более чем 200 мил. м³, что эквивалентно энергетическому потенциалу 2,5 мил. тонн нефти [1].

За период с 1996 г. по 2011 г. в Донецком угольном бассейне было закрыто 65 шахт и этот процесс продолжается. Кроме того, более 500 мил. м³ шахтных вод откачиваются и сбрасываются в водоемы и реки [2]. Температура этих вод колеблется от 16 до 22 °С в зависимости от времени года, а на глубинах свыше 700 метров достигает 30–33 °С. В результате процесса выделяется около 5 мил. Гкал низкопотенциального тепла, которые попадают в окружающую среду ежегодно.

Таким образом, затопленные угольные шахты представляют собой значительный потенциал для использования низкотемпературных геотермальных вод, сформировавшихся в подземных пространствах. Использование энергии шахтной воды не только не влияет на климат, но и способствует занятости бывших работников угольных предприятий [2].

В работе выполнен критический анализ мирового опыта использования шахтных вод для теплоснабжения наземных потребителей.

Одним из наиболее эффективных направлений использования низкопотенциального тепла в системах теплоснабжения является использование теплонасосных технологий. Указанные технологии позволяют преобразовывать низкотемпературную возобновляемую природную энергию и вторичную низкопотенциальную теплоту в более высокие температуры, подходящие для обеспечения теплоснабжения, а также обладают экологической безопасностью благодаря отсутствию сжигания топлива, выбросов в атмосферу и расхода невозобновляемых энергоресурсов.

Литература

1. **Данилов, В.В.** Повышение эффективности системы централизованного теплоснабжения на основе применения технологии тепловых насосов / В.В. Данилов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2000. — № 2. — С. 5–14.
2. **Кауфман, Л.** Вода закрытых шахт — источник геотермальной энергии. Часть 2 / Л. Кауфман // Наука и техника. — 2021. — № 1.

Д.В. Яковенко, студ.;
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ ШАХТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Количество закрытых шахт в Донбассе постоянно увеличивается, требуя значительных затрат на их поддержание, включая содержание персонала, выполняющего эксплуатационные работы, такие как откачка воды, дегазация и мониторинг состояния выработок. Это наносит серьезный ущерб и экономике, и экологии региона.

В такой ситуации важным становится использование шахтных вод из закрытых шахт в качестве альтернативного источника энергии, заменяющего углеводородные источники, такие как уголь, газ и нефть. Это позволит получать электрическую и тепловую энергию, при этом снижая негативное воздействие на окружающую среду.

Взаимодействие шахтных вод с окружающей средой отрицательно сказывается на различных аспектах. Оно проявляется через затопление активных шахт, затопление жилых и промышленных зданий и территорий, нарушение экологического состояния водных ресурсов, а также через сокращение запасов и загрязнение источников питьевой воды и др. [1].

Основной целью данного исследования является анализ глобальной практики применения шахтных вод с целью генерации электроэнергии, с последующим изучением перспектив их применения в условиях Донбасса.

Гидроаккумулирующие электрические станции (ГАЭС), построенные на основе шахт, играют крайне важную роль в районах, где сосредоточены объекты добывающей промышленности.

Преимущества подземной компоновки ГАЭС по сравнению с наземной станцией заключаются в следующем: меньший отвод поверхностных земель — только для верхнего бассейна; исключается потребность в наличии местности с значительными перепадами высот, что является проблематичным для равнинной местности, включая территорию Донбасса; обеспечивается более эффективное сопротивление поверхностным динамическим нагрузкам; подземная компоновка может быть унифицирована, что позволит существенно снизить стоимость типового проекта электростанции [2].

Литература

1. **Лиманский, А.В.** Использование возобновляемых источников энергии в угольной отрасли / А.В. Лиманский, М.А. Васильева // Записки Горного института. — Т. 210. — С. 86–92.
2. **Чесноков, С.А.** Горно-технологические аспекты создания подземной энергетики / С.А. Чесноков // Горный журнал. — 2010. — № 11. — С. 68–71.

*Р.Р. Смаилова, студ.;
рук. И.А. Бершадский, д.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАДИАЛЬНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В условиях ужесточения требований к техническому уровню распределительных электрических сетей (РЭС) актуальной становится задача максимального использования действующих линий электропередачи и трансформаторов. Осуществить это можно путем подключения дополнительных потребителей электроэнергии, уменьшив реактивную составляющую полного тока за счет установки устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). При этом также снижаются потери электроэнергии.

Сформулирована оптимизационная технико-экономическая задача определения мощности и выбора мест установки УКРМ в распределительных электрических радиальных сетях. Такие схемы применяются, например, для электроснабжения потребителей специального назначения (наземные комплексы и др. [1]).

Сформирован следующий состав частных критериев:

1. Стоимость установки УКРМ, которая складывается из затрат на батареи статических конденсаторов и расходов, связанных с их установкой (критерий f_1).
2. Стоимость потерь электрической энергии в линиях электропередачи, трансформаторных подстанциях за расчетный период (критерий f_2).

Кроме того, необходимо обеспечить соблюдение требований значения коэффициента реактивной мощности для потребителей — $\text{tg}\varphi^{6 \text{ кВ}} \leq 0,4$ и $\text{tg}\varphi^{0,4 \text{ кВ}} \leq 0,35$ (критерий f_3), а также нормирование отклонения напряжения в точках присоединения потребителей — $\Delta U^{6 \text{ кВ}} \leq 10\%$, $\Delta U^{0,4 \text{ кВ}} \leq 5\%$ (критерий f_4).

Требуется определить места установки и мощности УКРМ: $Q_{к1}$ централизованная КРМ на 6 кВ, $Q_{к2}$ — то же на 0,4 кВ, $Q_{к3.1}$ и $Q_{к3.2}$ — групповая КРМ на главных распределителях 0,4 кВ, исходя из указанных выше критериев.

Для получения решения минимизируется целевая функция приведённых затрат $Z = E f_1 + f_2$ с ограничениями в виде критериев f_3 и f_4 , где E , 1/год — нормативный коэффициент эффективности инвестиций.

Для оценки результатов приводятся найденные значения $Q_{к1}$, $Q_{к2}$, $Q_{к3.1}$, $Q_{к3.2}$, обеспечивающие минимум Z при заданных инвестициях f_1 . При определенном E зависимость $Z(f_1)$ имеет убывающий характер и достигает минимального значения, не изменяясь при дальнейшем увеличении инвестиций.

Литература

1. **Карагодин В.В., Рыбаков Д.В.** Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях специальных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 10. С. 823–829.

А.С. Сауткин, студ.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАПАСОВ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Определение условий статической устойчивости (СУ) электрических нагрузок является одним из необходимых этапов общего анализа энергосистем. Такие исследования проводятся как на этапе проектирования, так и в период эксплуатации. В последнем случае это необходимо для уточнения области допустимых режимов и разработки мероприятий по обеспечению непрерывности технологических процессов в различных режимах работы предприятий.

Целью настоящей работы является оценка пределов СУ промышленных потребителей с двигательной нагрузкой при наличии синхронных и асинхронных двигателей.

Для достижения указанной цели было разработано программное обеспечение в среде прикладного пакета MathCAD, которое позволяет:

- определять критические значения напряжений на шинах, к которым подключены асинхронные или синхронные двигатели;
- вычислять максимально допустимую нагрузку синхронных и асинхронных двигателей исходя из условия сохранения их СУ на основании прямых практических критериев $dP/d\delta > 0$ и $dP/ds > 0$ соответственно, а также оценивать запасы СУ двигателей;
- рассчитывать предел СУ для узлов, содержащих как АД, так и СД с использованием косвенного критерия $d\Delta Q/dU < 0$;
- исследовать влияние параметров питающей электрической сети;
- анализировать влияние установки на шинах с двигательной нагрузкой устройств компенсации реактивной мощности.

Приводятся результаты исследований для промышленного узла нагрузки, содержащего шесть асинхронных двигателей мощностью 630 кВт и синхронный двигатель мощностью 2000 кВт.

Литература

1. **Долгов, А.П.** Переходные электромеханические процессы электрических систем : учебное пособие / А.П. Долгов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-7782-3837-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99204.html>.

А.Н. Беличенко, студ.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИН ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Одним из управляющих воздействий противоаварийной автоматики (ПАА), направленных на предотвращение нарушения динамической устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС), является импульсная разгрузка турбин (ИРТ). Для настройки устройств ПАА необходимо использовать экспериментальные импульсные характеристики (ИХ) [1].

Для отработки методики определения оптимальных управляющих воздействий в математических моделях необходимо иметь аналитическое описание импульсных характеристик для различной интенсивности h_u и длительности воздействия t_u .

В работе предложен метод аппроксимации ИХ на основе четырех экспериментальных зависимостей [3], позволяющий определять характеристики для любой интенсивности и продолжительности.

Принято аналитическое представление ИХ полиномиальными функциями на трех временных участках.

Первый — отражает запаздывание в изменении мощности после подачи импульса. Принята одинаковая длительность для всех ИХ, равная 0,1 с.

Второй — учитывает снижение момента турбины при воздействии соответствующим импульсом. Получен полином шестой степени и определены его коэффициенты, зависящие от интенсивности импульса.

Третий — представляет собой идентичный для всех ИХ участок, отражающий запаздывание и увеличение мощности после того, как прекратилось импульсное воздействие. Путем параллельного переноса соответствующей характеристики вдоль оси времени и масштабирования относительно оси мощности турбины были получены коэффициенты полинома девятого порядка. В качестве исходных данных для аппроксимации был использован соответствующий отрезок импульсной характеристики [3] со следующими параметрами: $h_u=3$; $t_u=0,3$ с.

Литература

1. МУ 34-70-062-83. Методические указания по проверке и испытаниям автоматических систем регулирования и защит паровых турбин (СО 153-34.30.310, РД 34.30.310). Главное научно-техническое управление энергетики и электрификации РФ. Москва, ОРГРЭС, 1991. — 137 с.
2. Кощев, Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электроэнергетических системах / Л.А. Кощев. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. — 145 с.

С.В. Ковальская, асп.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ НАСЫЩЕНИЯ ЦЕПИ ГЛАВНОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА

Национальный стандарт РФ ГОСТ 10169-77 [1], международный стандарт ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012, и стандарт США IEEE Std 115™-2019 по методам испытаний синхронных машин (СМ), регламентируют экспериментальное определение их ненасыщенных электромагнитных параметров (ЭМП) и частотных характеристик (ЧХ) по данным опытов отключения от источника пониженного трехфазного напряжения.

В работе предлагается определять ЧХ с учетом насыщения пути основного магнитного потока по данным опытов отключения от сети возбужденного генератора, работающего без активной нагрузки. Для обеспечения заданного уровня насыщения, отличие напряжения на шинах системы и ЭДС генератора не должно превышать 2–3%.

Для регистрации переходных функций с помощью осциллографов (предусматривается указанными стандартами) разработано устройство, позволяющее фиксировать на всю ширину ленты только изменение напряжения в опыте. Оно состоит из трехфазного выпрямителя, на выходе которого включен активный делитель и последовательная цепочка, состоящая из стабилизатора, регулируемого добавочного сопротивления и гальванометра, которая и производит выделение только изменения напряжения. Такой подход позволяет измерять параметры переходного режима с дискретностью $\Delta t = 0,00333$ с.

Для измерений с большей дискретностью необходимо использовать цифровые регистраторы. Частота дискретизации измерений в начальной стадии переходного процесса ($0 < t < 0,1$ с) должна соответствовать 5 кГц.

По данным измерений мгновенных напряжений в трех фазах обмотки статора определяются значения модуля обобщенного вектора переходного напряжения для различных моментов времени. Для выделения только изменения напряжения необходимо из каждого найденного модульного значения напряжения вычесть его значение в установившемся режиме после отключения генератора от сети.

Выполнен анализ возможных погрешностей способа. Приводятся результаты исследований промышленного турбогенератора ТВВ-800-2.

Литература

1. **ГОСТ 10169-77** Государственный стандарт Союза ССР машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний. Введ. 2012-23-11. — М.: Стандартинформ, 2014. — 83 с.

Г.Ю. Немов, асп.;
рук. К.Н. Маренич, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР РОТОРНОГО ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА КАК СРЕДСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА РЫВКА ЛЕНТЫ ПРИ ПУСКЕ

Ленточный конвейер (ЛК) является сложной электромеханической системой, поскольку его конвейерная лента, будучи объектом с распределёнными параметрами, представляет собой совокупность последовательно соединённых упруго-массовых элементов.

Прямой пуск приводного асинхронного двигателя (АД) конвейера характеризуется высокой интенсивностью его разгона и сопровождается всплесками растягивающих усилий как в набегающей, так и в сбегающей ветвях ленты, вследствие чего увеличивается вероятность её порыва. При этом в конвейерной ленте образуется упругая волна на сбегающей ветви, в результате воздействия натяжения, складывающегося из статических и динамических усилий.

Применение устройств плавного пуска АД шахтных ленточных конвейеров позволяет устранить факторы снижения ресурса ленты и несущих элементов конструкции става, ударные воздействия на ленту, токовые перегрузки.

Плавный пуск АД с короткозамкнутым ротором привода ЛК обеспечивается коммутационными устройствами на основе тиристорных регуляторов напряжения статора [1]. В приводах конвейеров, оснащенных электродвигателем с фазным ротором, применяется взрывозащищённый жидкостный реостат (ВЖР), который отличается громоздкостью конструкции, низким КПД и необходимостью применения насосно-вентиляторного каскада для охлаждения электролита в баке реостата.

Альтернативным решением является применение тиристорного регулятора роторного тока (ТРРТ). В работе предложены варианты схем ТРРТ, включая систему автоматического управления и узел управления тиристорами в сети с изменяемой частотой напряжения позволяют оптимизировать процесс пуска привода, обеспечивая минимизацию амплитуд усилий в ленте при ограничении продолжительности разгона.

Литература

1. **Быковский, А.П.** Результаты испытаний аппарата управления пуском электропривода горной машины / А.П. Быковский, В.Н. Зеленецкий, И.С. Кибрик, И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич, // Уголь Украины. — 1994. — № 1. — С. 25–26.

*А.В. Сухочев, студ. ;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДОННТУ, Донецк)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПВ ГЕНЕРАТОРОВ В POWERFACTORY

В современных энергосистемах с большим числом межсистемных связей повышается вероятность появления после возмущений асинхронного хода по слабым связям. Если противоаварийной автоматике (ПАА) не удастся осуществить ресинхронизацию, то производится отключение линии связи с последующим восстановлением синхронизма. На практике применяют различные методы автоматического повторного включения (АПВ) синхронных генераторов (СГ) в сеть. Правила технической эксплуатации (ПТЭ) допускают несинхронные включения (НАПВ). Такой метод позволяет существенно сократить время восстановления связи, однако требует предварительной оценки допустимости способа. В этой связи актуальной является задача анализа эффективности применения различных моделей СГ и специализированного программного обеспечения для исследования переходных процессов при НАПВ с целью уточнения условий их допустимости и целесообразности.

Целью работы является обоснование модели СГ минимальной сложности для уточнений условий допустимости НАПВ, регламентируемых ПТЭ.

Для моделирования принято программное обеспечение PowerFactory. Выявление минимальных по сложности математических моделей СГ рассматривалось в ряде работ зарубежных и отечественных авторов [1]. В [1] для различных типов СГ выполнен синтез схем замещения в соответствии с международным стандартом для различного числа контуров на роторе (model 2.2) и (model 3.3). На их основе проведен анализ результатов моделирования НАПВ СГ при использовании моделей различной сложности, а также выполнено сопоставление с результатами расчета внезапного трехфазного короткого замыкания на выводах СГ. Из анализа результатов следует, что на значения электромагнитных моментов оказывает влияние исходная математическая модель генератора. Итоговые выводы позволяют утверждать, что для моделирования НАПВ достаточно использовать схему замещения типа (model 2.2), которая реализована в большинстве программ, в том числе и в PowerFactory.

Литература

1. **Ларин А.М.** Анализ влияния модели синхронных генераторов на точность моделирования переходных процессов при несинхронных повторных включениях / А.М. Ларин, С.А. Гришанов, С.А. Зори // Информатика и кибернетика. — № 2 (20), 2020. — Донецк: ДОННТУ — С. 5–12.

А.С. Трегубенко студ.; рук. А.А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ВЕНТИЛЬНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

На сегодняшний день в электрических системах получили широкое распространение вентильные преобразователи, к преимуществам которых относят меньшие потери энергии, меньшие габариты, простоту обслуживания. Применение вентильных преобразователей может существенно ухудшать качество напряжения сети. Несинусоидальность напряжения — это искажение синусоиды сетевого напряжения. Высшие гармоники напряжения в электрической сети обуславливают дополнительные потери активной мощности ΔP , сокращение срока службы изоляции оборудования γ , затруднение компенсации реактивной мощности.

Показателями качества электроэнергии [1], относящимися к гармоническим составляющим напряжения, являются: а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40го порядка $K_{U(n)}$, %; б) суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U , %. Согласно [1] норма для вероятности 100% времени в 1,5 раза превышает соответствующие нормируемые значения для вероятности 95%.

В исследовании ставились и были решены такие задачи:

- рассчитаны коэффициенты гармонических составляющих напряжения для сети с вентильными преобразователями различной мощности, оценено соблюдение требований стандарта [1] по несинусоидальности напряжения;
- выполнен анализ влияния на суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения мощности питающего трансформатора, мощности и типа вентильного преобразователя;
- проанализировано воздействие гармонических составляющих напряжения на отдельные элементы электрической системы.

Для автоматизации расчетов и проведения исследования использовалась программа *SMathStudio*.

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. с 01.07.2014.

Т.В. Демчик, студ.;
рук. А.А. Булгаков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Неравномерная нагрузка по фазам в электрической сети и мощные однофазные электроприёмники приводят к нарушению симметрии напряжения. Несимметрия напряжения оказывает негативное влияние на электротехническое оборудование в электрической системе. Согласно действующему стандарту на качество электроэнергии [1] по несимметрии напряжения нормируется два показателя: коэффициент несимметрии напряжения по обратной K_{2U} и нулевой последовательности K_{0U} . Стандарт [1] реализует вероятностный характер норм: задаются нормированные значения для вероятностей 95% и 100% по времени.

В общем случае несимметрия напряжения в электрической сети зависит от различных факторов и не является детерминированной величиной. В работе рассматривается вероятностная модель несимметрии напряжения. Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности моделируется как случайный стационарный нормально распределенный процесс $K_{2U}(t)$ с заданной автокорреляционной функцией. Характеристиками $K_{2U}(t)$ являются среднее значение K_{2Uc} и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{K_{2U}}$. Для процесса $K_{2U}(t)$ принят нормальный закон распределения и экспоненциальная автокорреляционная функция:

$$R(\tau) = \sigma_{K_{2U}}^2 \exp\{-\alpha\tau\},$$

где α — декремент затухания.

Существуют методы моделирования случайных стационарных процессов с заданной автокорреляционной функцией. В работе используются метод элементарных процессов и метод на основе непрерывных дробей.

Результатами моделирования являются реализации случайных стационарных процессов изменения несимметрии напряжения с разными характеристиками. Дается оценка применимости методов для моделирования недетерминированной несимметрии напряжения в электрической сети.

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 01.07.2014.

А.В. Ткаченко, студ.;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ POWERFACTORY

Обеспечение устойчивой работы элементов электрической системы зависит от раннего выявления будущего состояния самой системы. Чем более своевременно будет выявлено возможное нарушение взаимной устойчивости электростанций, тем раньше можно введением управляющих воздействий не допустить или локализовать аварию. Таким образом, повышение эффективности оперативного управления электрическими системами связано со своевременным распознаванием режима работы системы.

Целью данной работы является анализ методов оценки и распознавания нарушения динамической устойчивости электрических систем с использованием PowerFactory.

Одним из таких подходов является использование методов экспресс — оценки устойчивости электрических систем. Это методы, использующие, в основном, в качестве информативных параметров значение взаимного угла между генераторами и их производные. По результатам анализа ряда работ [1, 2], было предложено выявление зон для оценки динамической устойчивости. В основу работы положена задача адаптации методов экспресс-оценки для выявления зон устойчивых и неустойчивых режимов в многомашинной системе и анализ полученных результатов с использованием программного комплекса PowerFactory. Для рассматриваемых вариантов схемы в качестве аварийной ситуации принималось затяжное КЗ в контрольных точках системы с последующим его отключением. По результатам расчета угла δ и его производных были построены зависимости, ограничивающие области допустимых и недопустимых режимов. Это так называемые предельные поверхности для устойчивой послеварийной характеристики при различных значениях мощности в исходном режиме, на основании которых можно судить об устойчивости режима по параметрам доаварийного режима.

Литература

1. **Веников В.А., Асамбаев С.Н.** Экспресс — оценка устойчивости процесса по его начальной стадии / Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1986. — № 3. — С. 22–25.
2. **Гришанов С.А., Свищенок Д.А.** Использование метода экспресс-оценки допустимости асинхронного режима в двухмашинной электрической системе / Инновационные перспективы Донбасса. Материалы 5-й международной научно-практической конференции Том 2. — Донецк.: ДонНТУ, 2019. — С. 56–65.

В.А. Мирошниченко, студ.;
рук. А.А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ НА УЧАСТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ НАГРУЗКИ

Недетерминированный характер изменения электрической нагрузки в реальных электрических сетях обусловлен наличием большого количества разнотипных электроприёмников. При передаче электроэнергии по участку электрической сети возникают потери мощности, которые в общем случае не являются детерминированной величиной. В работе решается задача статистического моделирования потерь мощности на участке электрической сети при недетерминированной мощности нагрузки.

Рассматривается вероятностная модель электрической нагрузки, которая задается как система случайных коррелированных величин активной P и реактивной Q мощностей, подчиненных нормальному закону распределения. Для системы случайных величин (P, Q) характеристиками являются средние значения P_c, Q_c , среднеквадратические отклонения σ_P, σ_Q и коэффициент корреляции r_{PQ} . Параметры сети рассматриваются как детерминированные величины.

Потери активной мощности на участке электрической сети [1] определяются следующим соотношением

$$\Delta P_{\text{уч}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} r_{\text{уч}}.$$

где $r_{\text{уч}}$ — активное сопротивление участка сети, в Ом, U — напряжение, кВ. Преобразование (1) является нелинейным относительно системы P и Q , тогда распределение величины $\Delta P_{\text{уч}}$ не будет нормальным.

Целью работы является нахождение закона распределения потерь активной ΔP мощности на участке электрической сети: плотности распределения $f(\Delta P)$ и интегральной функции распределения $F(\Delta P)$.

Предложено вероятностное и статистическое решение поставленной задачи. Получена интегральная функция распределения $F(\Delta P)$, позволяющая с заданной граничной вероятностью E_x определять потери активной мощности на участке электрической сети при недетерминированной модели нагрузки.

Литература

1. **Идельчик В.И.** Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989, — 592 с: ил.

И.П. Васьковский, студ.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХМАШИННОЙ СИСТЕМЫ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ОТБОРАМИ МОЩНОСТИ

Для обеспечения надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) в соответствии с «Методическими указаниями...» устанавливаются требования к их статической устойчивости (СУ). При проведении расчетов режимов и устойчивости с целью проверки выполнения нормативных требований должны использоваться расчетные модели, обеспечивающие корректность моделирования переходных режимов.

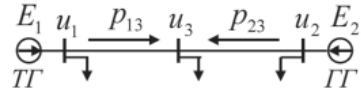


Рис. 1. Исследуемая система

В настоящей работе разрабатывается программное обеспечение (ПО), позволяющее рассчитывать предел передаваемой мощности и запас СУ ЭЭС, состоящей из двух электростанций. Рассматривалась двухмашинная система с промежуточными отборами мощности (рис. 1), включающая турбогенератор (ТГ) и гидрогенератор (ГГ).

В основу алгоритма программы положен критерий [1].

$$a = \left(\frac{1}{T_{j1}} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{12}} - \frac{1}{T_{j2}} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{12}} \right) > 0. \quad (1)$$

Анализ критерия (1) на основании угловых характеристик мощности $P_1(\delta_{12})$ и $P_2(\delta_{12})$ позволяет так же по значению угла в исходном режиме (δ_{120}) и по аргументу взаимного сопротивления α_{12} , оценивать возможность возникновения асинхронного режима [2].

Исследовались различные доаварийные режимы: ТГ полностью обеспечивает местную нагрузку и выдает мощность для отборов в узлах 3 и 2; в снабжении нагрузки в узле 3 участвуют как ТГ, так и ГГ.

Показано, что область исходных режимов ограничена зоной СУ, определяемой следующим условием:

$$-90 + \arctg \left(\frac{T_{j2} - T_{j1}}{T_{j2} + T_{j1}} \cdot \tg(\alpha_{12}) \right) \leq \delta_{120} \leq 90 + \arctg \left(\frac{T_{j2} - T_{j1}}{T_{j2} + T_{j1}} \cdot \tg(\alpha_{12}) \right). \quad (2)$$

Литература

1. **Веников, В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах / В.А. Веников // Москва: ВШ, 1985. — 536 с.
2. **Гусейнов, А.М.** Метод оперативной оценки допустимости асинхронных режимов по межсистемным связям / А.М. Гусейнов // Электричество. — 1990. — № 8. — С.1–12.

Б.Ю. Яковлев, студ.;
рук. В.И. Калашников, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ПРОТОННО-ОБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

В мире в настоящее время наблюдается повышенное внимание к развитию водородной энергетики [1]. Топливный элемент (ТЭ) с протонно-обменной мембраной является электрохимическим источником электрической энергии. В работе рассмотрена структура математической модели топливного элемента, учитывающая все составляющие процессов: электро-, термо-, гидродинамику и газовую механику источника [2]. Электродинамика топливного элемента содержит расчёт напряжения на его клеммах из условий определения напряжения холостого хода и общего падения напряжения источника в зависимости от температуры ячеек, степени влажности водорода и кислорода, давления реагентов и плотности тока. Термодинамика ТЭ включает описание теплового баланса и расчёт температуры ячеек источника, для чего были учтены тепловые потери, температура реагентов и процесс охлаждения ТЭ. Термодинамика ТЭ учитывает влияние влажности полимерной мембраны и влажности реагентов на вольтамперную характеристику. Гидродинамика учитывает фазные переходы воды. Повышенное содержание воды препятствует диффузии газов через каналы электродов к реакционным зонам, а понижение концентрации воды вызывает увеличение падения напряжения. Газовая механика ТЭ учитывает изменения давления реагентов, вызванное потреблением топливных газов источника, и падение напряжения на клеммах ТЭ из-за массообмена в нем, а именно из-за диффузного сопротивления источника. Полученные математические выражения являются основой для создания математическую модель ТЭ с протонно-обменной мембраной для совместного использования в гибридных энергетических комплексах. В процессе выполнения работы наработан теоретический задел и приобретены компетенции в области организации образовательного процесса по исследованиям и разработкам энергетических комплексов на основе водородной энергетики.

Литература

1. **Ушаков В.Я.** Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты: монография (В.Я. Ушаков. — Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2018.)
2. **Stychinsky Z.A.** Renewable energy sources: Theoretical bases, technologies, specifications, economics / Z.A. Stychinsky, N.I. Vo-ropai — Magdeburg: Otto-von-Guerike-Universitat Magdeburg docupoint GmbH, 2010. — 209 p.

И.О. Журов, асп.;
рук. П.И. Розкаряка, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СИСТЕМЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЛЕРА

В электроприводах на базе асинхронного двигателя (или генератора) с применением полеориентированного векторного управления для повышения качества регулирования частоты и крутящего момента используются различные способы адаптации системы управления к изменению параметров обмоток машины. В тех приводах, где магнитный поток регулируется в широком диапазоне, важно располагать статической зависимостью взаимной индуктивности от потокоцепления $L_m(\psi)$.

С целью экономии ресурсов управляющего контроллера, что актуально в случае их ограниченности, наиболее целесообразно использовать способы предварительной оценки параметров машины, с дальнейшим их использованием в программном коде в виде степенных полиномов или справочных таблиц.

В [1] предложен способ и описан алгоритм предварительной оценки двух параметров асинхронной машины с учетом потерь в стали. Для оценки модуля и угла вектора потокоцепления ротора предлагается использовать блок, структура которого построена на базе уравнений электромагнитных процессов роторной цепи, без применения дополнительных корректирующих звеньев.

Однако можно показать, что потери в стали ротора пренебрежимо малы по сравнению с потерями в стали статора. Это ведет к существенному упрощению рассматриваемого способа оценки параметров, предлагаемому в настоящей работе. Кроме того, приведены рекомендации по использованию данных, получаемых в результате выполнения процедуры оценки параметров.

Главным достоинством предлагаемого способа является его универсальность для векторно-управляемых электроприводов любых механизмов на базе асинхронной машины. При этом, также, достигается высокая точность отработки крутящего момента при невысоких затрачиваемых ресурсах управляющего контроллера.

Литература

1. **I. Zhurov, S. Bayda and S. Florentsev**, "Parameters Estimation Technique of the Induction Motor Electric Drive with the Field-Oriented Control Tacking into Account Core Losses," 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2022, pp. 164–169.

В.И. Аксенов, студ.;
рук. И.И. Ларина, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Одним из условий устойчивой работы промышленных предприятий является их бесперебойное обеспечение электрической энергией, отвечающей установленным стандартам [1]. Качество работы электрических сетей, связано с особенностями электромагнитной совместимости электроприемников и питающей сети, особенно, если на промышленных предприятиях имеются нагрузки с нелинейными вольт-амперными характеристиками.

В зависимости от места подключения и процентного соотношения по отношению к линейным нагрузкам в такой системе источники высших гармоник оказывают влияние на другие потребители. Определение допустимости этого влияния является актуальным.

На промышленном предприятии ДНР с напряжениями 110/6 кВ для питания внутривозовского транспорта служит тяговая подстанция с выпрямительной установкой, выполненной по шестифазной схеме выпрямления. Ее наличие приводит к искажению кривой напряжения и создает в сети высшие гармоники. По зафиксированной кривой напряжения определены наиболее весомые гармоники: 5 (2,5%), 7 (3,3%) и 11 (2,84%).

Для компенсации реактивной нагрузки предприятия к шинам 6 кВ подключены батареи конденсаторов (БК) общей мощностью 2475 квар (УКЛ-6-450, УКЛ-6-1125 и УКЛ-6-900). В системах электроснабжения 6–10 кВ с источниками высших гармоник тока наличие БК может приводить к их параллельному резонансу с сетью.

В работе выполнен анализ работы БК в установившихся и переходных режимах при минимальной (450 квар) и максимальной (2,475 квар) мощности БК. Определены: дополнительные потери активной мощности; величина перегрузки; ущерб от дополнительных потерь и снижения срока службы; гармоники, при которых обусловлена близость к резонансу; время затухания переходного процесса; ущерб при установке фильтров только на 5-ю гармонику, а также на 5-ю и 7-ю гармоники одновременно.

Исследования показали недопустимость эксплуатации БК при их максимальной мощности из-за перегрузки более чем на 15%. При минимальной мощности перегрузка составляет 8%, что не превышает допустимую.

Литература

1. **ГОСТ — 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: дата введ. 2014-07-01. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 31 с.

*А.С. Соколенко, О.Д. Половинка, студенты;
рук. Д.В. Половинка, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», Луганск)*

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Современные тенденции развития систем электроснабжения предъявляют всё больше требований, относящихся к ее гибкости и, в частности, к защите системы (изменчивость токовых уставок, времени срабатывания и повторного включения и др.). Это связано с тем, что система электроснабжения в современных условиях интенсивно меняется — где-то снизились нагрузки из-за внедрения новых технологий, где-то введен в действие новый объект электроснабжения. Поэтому реализовать максимально-токовую защиту оказывается возможным только с применением микропроцессорной техники [1]. Предлагается микропроцессорная система максимально-токовой защиты с регулируемыми параметрами на базе АТМega328 для исследования возможностей энергонезависимого сохранения уставок и параметров по времени, а также для анализа одновременной независимой работы алфавитно-цифрового жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) и встроенного АЦП, работающего в циклическом режиме [2]. Разработанная микропроцессорная система максимально-токовой защиты с регулируемыми параметрами на базе АТМega328 может работать в четырёх режимах: режим ожидания; рабочий режим; режим модификации уставок и выдержек времени; режим просмотра уставок. В режиме модификации уставок и выдержек времени происходит запись изменяемых параметров (уставки тока, значение времени срабатывания и повторного включения) во внутреннюю энергонезависимую память данных ЭСППЗУ. В режиме просмотра уставок и выдержек времени происходит считывание изменяемых параметров (уставки тока, значение времени срабатывания и повторного включения) из внутренней ЭСППЗУ. Предложенная микропроцессорная система максимально-токовой защиты с регулируемыми параметрами позволяет производить изменения токовых и временных уставок в зависимости от условий эксплуатации системы электроснабжения в более широком диапазоне и индивидуально для каждого объекта.

Литература

1. **Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И.** Микропроцессорная релейная защита и автоматика энергетических систем: учеб. пособие для вузов/ А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 336 с.: ил.
2. **С. Монк** Программируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами. — СПб.: Питер, 2017.

А.В. Тычук, студ.; рук. И.А. Карпук, к.т.н., доц. (ДонГТУ, Алчевск)

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСТОЧНИКОМ ТОКА В РОТОРНОЙ ЦЕПИ

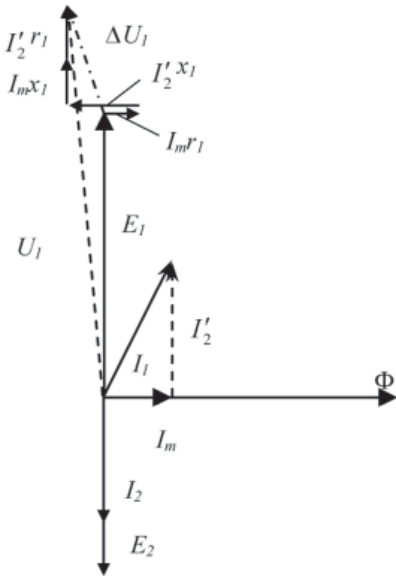


Рис. 1. Эквивалентная векторная диаграмма асинхронной машины при питании ротора от источника тока

для разомкнутой системы ЭП, так и при замыкании системы по скорости пропорциональным регулятором скорости.

Полученные зависимости позволяют проводить анализ работы ЭП в различных режимах работы.

Литература

1. Карпук И.А., Шелоков А.Г. "Асинхронный вентильный каскад, управляемый по ротору, с повышенными динамическими и энергетическими показателями // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета, Выпуск 4(46), 2016 — Алчевск: ДонГТУ. — 2016. — С. 96–101.
2. Самчелев Ю.П. Однофазный частотно — токовый преобразователь / В.Г. Дрючин, Ю.П. Самчелев, И.С. Шевченко, Г.С. Белоха // Сборник науч-ных трудов ДонГТУ. Алчевск. 2011, Вып. 34. С. 349–352.

Одним из вариантов построения высокодинамичного и энергоэффективного асинхронного электропривода (ЭП) является использование асинхронной машины (АМ) с фазным ротором с регулируемым источником тока (РИТ) в роторной цепи [1]. В качестве источника тока могут быть использованы как традиционный индуктивно-емкостный преобразователь (ИЕП), так и специальные вентильные преобразователи на полностью управляемых вентилях, работающие в режиме источника тока [2].

Целью работы является расчет и анализ механических и электромеханических характеристик АМ с РИТ.

Расчет произведен на основании векторной диаграммы асинхронной машины при питании ротора от источника тока (рис.1). Величина намагничивающего тока рассчитана с учетом насыщения стали машины.

Механические и электромеханические характеристики рассчитаны как

Д.В. Панасенко, студ.; рук. С.В. Деркачёв, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ ПО АВТОМАТИКЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Современную энергетическую систему невозможно представить без микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, которые позволяют обеспечить ее надёжное функционирование при возникновении нарушений нормального режима работы. К основным устройствам автоматики энергосистем относятся устройства автоматического включения резерва (АВР), устройства автоматического повторного включения (АПВ), а также устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР) [1]. С помощью этих устройств выполняется: включение резервного питания в случае нарушения нормального режима электропитания от основного источника питания; повторное включение оборудования при его отключении устройствами релейной защиты; разгрузка линий электропередач с целью предотвращения нарушения устойчивости параллельной работы; отключение части потребителей для предотвращения аварии в случае критического снижения частоты в энергосистеме. Поскольку современные устройства релейной защиты и автоматики реализуются на микропроцессорной элементной базе и программируются с помощью гибкой логики, актуальным является вопрос подготовки специалистов, понимающих принципы и тонкости построения алгоритмов работы устройств АВР, АПВ и АЧР и способных выполнять корректировку заложенных алгоритмов под конкретные условия эксплуатации.

В работе разработаны виртуальные лабораторные установки по автоматике энергосистем в среде математического пакета MATLAB\Simulink, которые позволяют изучить способы построения алгоритмов работы пусковых органов устройств АВР, АПВ и АЧР на основе гибкой логики, а также провести моделирование их работы при возникновении различных аварийных режимов.

Достоинством предложенных виртуальных установок является возможность их использования как в учебном процессе в университете при подготовке инженеров энергетиков, так и при проведении курсов повышения квалификации работников энергетической отрасли.

Литература

1. **Андреев М.В.** Автоматика энергосистем : учеб. пособие / М.В. Андреев, Ю.С. Боровиков, А.С. Гусев, А.О. Сулайманов. — Томск : Издательство томского политехнического университета, 2015. — 193 с.

А.А. Ткачев, студ.; рук. В.Г. Черников, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

Основной задачей систем управления энергоустановками на базе возобновляемых источников энергии является достижение максимально возможного КПД в условиях постоянно изменяющихся внешних факторов. В связи с этим возникла необходимость создания экспериментальной установки, реализующей систему ориентирования фотоэлектрического модуля с наклонной осью на базе позиционного электропривода и программируемого логического контроллера [1], с целью практической оценки повышения энергоэффективности модуля в результате использования активной системы слежения за Солнцем (рис. 1).

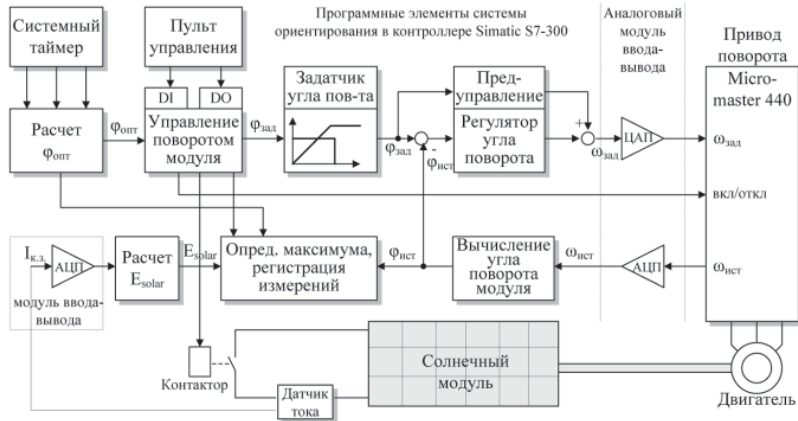


Рис. 1. Структура системы управления ориентированием модуля

Для географических координат г. Донецка теоретические расчеты показывают, что в среднегодовом выражении применение одноосной системы ориентирования с наклонной осью позволяет увеличить энергоэффективность ориентируемого фотоэлектрического модуля по сравнению с фиксированным, в условиях чистого неба, до 28,5% при однократном ежемесячном изменении наклона оси вращения, что близко к аналогичному показателю для двухосной системы ориентирования.

Литература

1. Черников, В.Г. Разработка метода оптимального управления системой ориентирования фотоэлектрического модуля / Черников В.Г., Павлыш В.Н. // Научный журнал «Информатика и кибернетика». — Донецк, 2021. — №4 (26). — С. 14–21.

Д.А. Тонкошкур, студ.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТЫ И ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) являются основным типом электродвигателей (ЭД) переменного тока, широко применяемым в качестве электроприводных ЭД механизмов промышленных предприятий, а также системы собственных нужд электростанций. Процент повреждаемости АД с КЗР достигает 20–25% в год от общего количества используемых ЭД, и может быть снижен за счёт совершенствования алгоритмов релейной защиты и диагностики, реализуемых на цифровой платформе [1].

В качестве прототипа в данной работе использован алгоритм косвенного определения эквивалентной температуры нагрева (ЭТН) асинхронной машины на основе измерения режимных параметров (фазные токи и напряжения, скольжение), предложенный в [2]. В работе предложено косвенное определение ЭТН АД на основе сравнения входных активных сопротивлений ЭД, рассчитываемых в горячем и холодном состояниях по данным измерения величины скольжения, а также токов, напряжений и мощности как прямой (ПП), так и обратной последовательностей (ОП). В качестве модуля диагностики использован алгоритм прогнозирования срока службы АД, предложенный в [2]. Косвенный расчёт ЭТН асинхронной машины с использованием составляющих ПП и ОП позволяет реализовать усовершенствованную и более точную тепловую защиту, дополненную модулем диагностики.

Корректная работа усовершенствованного алгоритма защиты и диагностики АД с КЗР проверена, как на ПЭВМ с использованием пакета PTC® MathCAD®, так и на экспериментальной установке кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «ДонНТУ».

Литература

1. **Сивокобыленко, В.Ф., Ткаченко, С.Н.** Математическое моделирование комбинированной тепловой защиты глубокогопазного асинхронного двигателя / Электрические станции. 2020. № 2 (2020). — С. 46–53.
2. **Ткаченко, С.Н.** Прогнозирование срока службы асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором на основе контроля параметров текущего режима / Завалишинские чтения 16 : сборник докладов, Санкт-Петербург, 11–15 апреля 2016 года / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. — Санкт-Петербург. — 2016. С. 246–249.

А.С. Жуков, студ. ;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА ВСЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

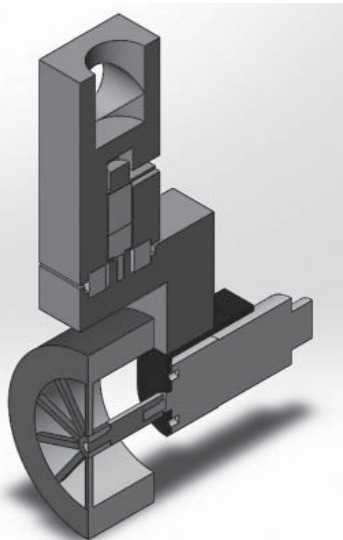


Рис. 1. 3Д модель опоры колесного механизма

а для движения Bringsmart JGA25-371 мощностью 1.5 Вт и частотой 400 об/мин.

С учетом посадочных размеров подобранных двигателей были разработаны 3Д модели в программной среде Solidworks (рис.1), которые позволили с применением 3Д принтеров и прочих подручных средств собрать механизм передвижения портального крана.

В результате получена модель механизма передвижения портального крана с восемью приводами, которую можно использовать для управления его движением. Полученный прототип возможно усовершенствовать за счет установки механизмов движения моста и подъёмов.

Литература

1. **Лабеев, А.В.** Разработка манипулятора с тремя степенями свободы и устройства схвата для мобильного наземного робота / А.В. Лабеев // Радиотехника, электротехника и энергетика : Тез. Докл. 27 Межд. Н.-Техн. Конф. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2021. — С. 1180.

А.В. Захаров, асп.;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ В СВЯЗКЕ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИМИТАЦИИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

При разработке силового источника питания для электропривода возникает необходимость производить тестирование разработанного устройства. Как правило, данная задача решается включением источника на потребитель энергии соответствующей мощности, такой как резистор или, на так называемую, «электронную нагрузку». Однако работа источника на подобную нагрузку не может обеспечить проверку работоспособности с учётом специфики работы конечного потребителя, например, всех режимов работы электропривода. Конечно, можно использовать и реальную испытательную установку, включающую электродвигатель и нагрузочную машину. Однако, если мощность исследуемого источника энергии достаточно велика, то соответствующая установка будет габаритна и потребует серьезных финансовых вложений.

В современных источниках питания электротранспорта всё чаще применяются суперконденсаторы в виду своей высокой удельной мощности [1].

В данной работе предлагается использование суперконденсаторной батареи в связке с двунаправленным DC-DC преобразователем для имитации работы различных режимов работы электропривода.

При питании от источника постоянного напряжения работа электропривода сводится к потреблению тока и, соответственно, мощности различной величины. В предлагаемой установке суперконденсатор, как потребитель высокой мощности, подключается к источнику напряжения при помощи двунаправленного DC-DC преобразователя. Зная график изменения мощности рабочего цикла электропривода механизма, а также напряжение источника, можно сформировать задание на контур тока и, соответственно, на выходную мощность источника, имитируя различные режимы работы электропривода.

Литература

1. **O. Rahman, D.A. Robinson, S. Elphick and S. Perera**, “Power Sharing and Energy Management between Supercapacitor and Battery in a Hybrid Energy System for EVs,” 2021 31st Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Perth, Australia, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/AUPEC52110.2021.9597749.

Я.С. Ходаковский, студ.;
рук. Д.В. Бажутин, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ПРИМЕНЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ NETVLAD В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ SLAM

Одним из важных направлений, активно развивающихся в современной робототехнике, является решение проблемы локализации и картографирования робота в сложной, заранее неизвестной среде, необходимое для его последующей навигации. Одним из вариантов развития является использование метода SLAM (Simultaneous localization and mapping). Существует несколько подходов для реализации данного алгоритма, например, создание карты местности на основании сетки точек с использованием специализированных датчиков, методы, основанные на выделении ключевых объектов на изображении и др.

Перспективным направлением развития алгоритмов управления робототехническими устройствами является интеграция архитектуры NetVLAD в систему управления движением. Особенностью этой архитектуры является существенное снижение времени обработки изображения, благодаря использованию сверточных нейронных сетей. Система технического зрения преобразует полученные с камеры изображения в формат VLAD (vector of locally aggregated descriptors), который представляет собой вектор, каждый элемент которого — расстояние между кластером (visual word) и дескриптором, полученным из изображения. Эта информация передается в систему навигации робота, которая осуществляет поиск наиболее похожего вектора в заранее подготовленной для исследуемой местности базе данных.

Конечным результатом работы описанной системы является информация о положении устройства в пространстве относительно ключевых объектов окружения. Эта информация используется в системе управления движением для формирования задающих воздействий на электроприводы механизма перемещения с целью реализации выбранной функции автоматического управления.

Как показывают исследования [1], предложенная система позволяет достичь прироста показателя распознаваемости в 10% при снижении времени обработки изображения на 50%.

Литература

1. **Relija Arandjelovic, Petr Grona, Akihiko Torii, Tomas Pajdla, Josef Sivic.** NetVLAD: CNN architecture for weakly supervised place recognition, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.

*Н.И. Татаренков, И.А. Хоменко, аспиранты;
рук. И.В. Булах, к.э.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

ТЭК ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является основной составляющей экономики Донецкой Народной Республики.

ТЭК можно рассматривать как систему, объединяющую не только разные отрасли хозяйства (угольную, перерабатывающую промышленность, электроэнергетику, ЖКХ), но и различных субъектов хозяйствования: государство (Министерство угля и энергетики), частные и государственные компании, население [1]. Являясь сложной межотраслевой системой, ТЭК ДНР обеспечивает энергетическую безопасность региона, выполняя функции поддержания надежности энергоснабжения для нормального функционирования и развития производства, социальной сферы, а также обеспечения комфортных условий жизни в домохозяйствах.

Министерство угля и энергетики ДНР, государственный орган исполнительной власти ДНР, проводящий государственную политику в сфере ТЭК, объединяет крупнейшие государственные энергопредприятия: «Энергия Донбасса», «Государственная магистральная сетевая компания» и «Региональная энергопоставляющая компания». Основными проблемами отрасли являются: моральный и физический износ энергетического оборудования: устаревшее оборудование по генерации и передаче электроэнергии; отсутствие альтернативной энергетики; рост дебиторской и кредиторской задолженности; отток высококвалифицированных кадров; повреждение линий электропередач и оборудования подстанций в результате военных действий, неблагоприятных погодных условий в зимний период и вмешательства физических лиц в работу электросетей [2].

Авторами рассмотрена структура ТЭК ДНР, выявлены и систематизированы основные угрозы электроэнергетики. Несмотря на существующие проблемы ТЭК ДНР остается одним из наиболее устойчиво работающих секторов экономики страны.

Литература

1. **Ефименко А.В.**, Системный подход к оценке топливо-энергетического комплекса ДНР / А.В. Ефименко // Вестник института экономических исследований, 2018, № 4 (12), С. 83–90.
2. **Черникова, Л.В.**, Электроэнергетика Донецкой Народной Республики в контексте экономической безопасности: состояние, угрозы, рекомендации / Л.В. Черникова // Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность : сборник статей V Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения-2022», Минск, 07–09 декабря 2022 г. : в 3 т. Т. 2. — Минск : БГТУ, 2022. — С. 377–382.

*А.М. Сабельникова, студ.;
рук. О.В. Пеньков, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Климатические, метеорологические и ландшафтные условия на территориях Донбасса позволяют осуществлять процесс внедрения возобновляемых источников энергии, и прежде всего ветровых электростанций (ВЭС). В настоящее время в мире на ВЭС эксплуатируется большое количество ВЭУ различных моделей номинальной мощностью до 15 МВт [1]. На ВЭС Донбасса, как например, Новоазовской ВЭС, установлены ВЭУ на базе асинхронных генераторов (АГ), как с короткозамкнутым ротором, так и АГ с фазным ротором (машины двойного питания). По причине затруднений выполнения экспериментальных исследований режимов работы АГ на реальных ветровых агрегатах актуальной задачей является дальнейшее совершенствование их математических моделей (ММ) для ПЭВМ.

Моделирование режимов работы ВЭУ показало, что развиваемый машиной момент в значительной степени зависит от насыщения магнитопровода и частоты токов, протекающих в роторных контурах. Неучёт указанных факторов может привести к ухудшению регулировочных характеристик и устойчивости работы машины.

В данной работе для учёта влияния насыщения и изменения динамических коэффициентов само- и взаимной индукции уравнения, описывающие стационарные и переходные режимы, дополняются соотношениями $\Delta E_{\mu}(t)$ и $X_{\mu}(I_{\mu})$. Это позволяет отображать изменение нелинейных трансформаторных связей между взаимортогональными контурами. Явление вытеснения токов в конструктивных элементах ротора учитывается путём использования двухконтурной схемы с не зависящими от частоты сопротивлениями.

Результаты выполненных расчётно-теоретических исследований имеют практическую направленность и могут использоваться, как оценочные для решения задач синтеза и анализа проектируемых и находящихся в эксплуатации ВЭУ на базе асинхронных машин двойного питания.

Литература

1. **Герман-Галкин С.Г.** Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК: Учебное пособие для ВУЗов / С.Г. Герман-Галкин. — СПб: Корона-Принт, 2017. — 514 с.

М.А. Попова, соиск.;
рук. В.В. Колобова, к.э.н. (ДонНТУ, Донецк)

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КЛАСТЕР КАК ФОРМА НЕКОММЕРЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА И ДРАЙВЕР ЭКОНОМИКИ

Создание и развитие промышленного кластера осуществляется с учетом стратегии пространственного развития РФ, схем территориального планирования РФ и субъектов РФ [1].

В электротехнический кластер, о создании которого объявили Государственный концерн «Корпорация развития Донбасса» Донецкой Народной Республики и министерство промышленности и энергетики Республики Чувашия, вошли: 1) предприятия-производители: Чебоксарский электроаппаратный завод, Донецкий электротехнический завод, Торезский электротехнический завод; 2) учебные заведения: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Донецкий национальный технический университет; Чебоксарский электромеханический колледж; 3) Минэкономразвития Республики Чувашия, Министерство промышленности и энергетики Чувашии, Минпромторг ДНР, Министерство угля и энергетики Донецкой Народной Республики. Смысл объединения — кооперация. Первоочередная задача — изготовление оборудования для комплексных проектов по восстановлению, реконструкции, проектированию и строительству энергообъектов ДНР.

На практике предприятиям-участникам межрегионального кластера сложно организовать. Учитывая, что проблемы административного характера преодолены, авторами было установлено, что в рамках интегрированной стратегии развития кластера целесообразно создавать функциональную карту. В карте необходимо: выделить основу кластера — крупные конкурентоспособные предприятия, производящие однотипную продукцию; описать инфраструктуру — смежные и обслуживающие компании, учреждения образования и науки, обеспечивающие развитие кластера; разработать схему организационной зависимости участников и инфраструктуры; схему производственно-технологической кооперации предприятий-участников; сформировать конкретную структуру системы управления кластером. Вышеуказанное поможет предприятиям исключить дополнительные трудовые, финансовые и инвестиционные затраты при участии в межрегиональном проекте.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 31.07.2015 N 779** «О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров».

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ I — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА	5
Секция 1. Теоретические основы радиотехники	6
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов	37
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов	48
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн	57
Секция 5. Радиолокация и телевидение	71
Секция 6. Оптико-электронное приборостроение	75
Секция 7. Радиосистемы навигации и связи	84
Секция 8. Фотоника	102
Секция 9. Промышленная электроника	121
Секция 10. Электроника и нанoeлектроника	149
Секция 11. Биомедицинская электроника	158
НАПРАВЛЕНИЕ II — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	189
Секция 12. Математическое моделирование	190
Секция 13. Прикладная математика и искусственный интеллект	203
Секция 14. Вычислительная техника и САПР	233
Секция 15. Вычислительные машины, сети и системы	245
Секция 16. Управление и интеллектуальные технологии	283
Секция 17. Вычислительно-измерительные системы	309
Секция 18. Неразрушающий контроль и диагностика	322
НАПРАВЛЕНИЕ III — БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	333
Секция 19. Информационная безопасность	334
Секция 20. Прикладная и бизнес-информатика	372
НАПРАВЛЕНИЕ IV — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	383
Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии	384
Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов	426

Секция 23. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы	445
Секция 24. Электрические и электронные аппараты	465
Секция 25. Электропривод и автоматика	504
Секция 26. Промышленные электротермические установки	518
Секция 27. Электрический транспорт	534
 НАПРАВЛЕНИЕ V — ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	544
Секция 28. Техносферная безопасность	545
 НАПРАВЛЕНИЕ VI — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ	586
Секция 29. Общие вопросы экономики	587
Секция 30. Экономика промышленности	609
Секция 31. Менеджмент	643
 НАПРАВЛЕНИЕ VII — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ	677
Секция 32. Промышленная электроэнергетика	678
Секция 33. Энергетика теплотехнологии	689
Секция 34. Инновационные технологии в теплоэнергетике и машиностроении	720
Секция 35. Собственная генерация: технологии и оборудование	746
Секция 36. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики	760
Секция 37. Энергосбережение и промышленная экология	775
Секция 38. Промышленные теплоэнергетические системы	797
Секция 39. Электрохимическая и водородная энергетика	820
Секция 40. Экономика энергетики	835
 НАПРАВЛЕНИЕ VIII — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА	856
Секция 41. Атомные электрические станции и установки	857
Секция 42. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии	892
Секция 43. Теплофизика	906
Секция 44. Техника и физика низких температур	949
Секция 45. Нанотехнологии	966

НАПРАВЛЕНИЕ IX — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	978
Секция 46. Котельные установки и охрана окружающей среды	979
Секция 47. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС	994
Секция 48. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций.	1012
Секция 49. Контроль, автоматизация и управление в энергетике	1037
Секция 50. Теплотехника и малая распределенная энергетика	1049
НАПРАВЛЕНИЕ X — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ	1068
Секция 51. Энергетические установки и двигатели.	1069
Секция 52. Проблемы технологии, надежности и конструирования	1080
Секция 53. Робототехнические и мехатронные системы	1091
НАПРАВЛЕНИЕ XI — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	1097
Секция 54. Электроэнергетические системы.	1098
Секция 55. Электроснабжение	1117
Секция 56. История энергетики	1150
Секция 57. Электрические станции	1167
Секция 58. Секция имени профессора Б.К. Максимова «Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов»	1191
Секция 59. Теоретические основы электротехники	1241
НАПРАВЛЕНИЕ XII — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	1255
Секция 60. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии	1256
НАПРАВЛЕНИЕ XIII — СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	1284
Секция 61. Промышленный и медиа дизайн	1285
Секция 62. Электроэнергетика в военном деле.	1296
Секция 63. Техническое творчество студентов среднего профессионального образования.	1298
Секция 64. Электроэнергетика Средней Азии	1299
Секция 65. Специальные вопросы электроэнергетики Донбасса.	1308

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Тридцатая международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**
Тезисы докладов

Подписано в печать 19.02.2024 г. Формат 60 x 90/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 83.875

Тираж 100 экз. Заказ № 100-02/24.

Оригинал-макет и полиграфические работы –
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».

Тел.: (495) 252-7510.

<http://www.raduga-print.ru>

<http://www.radugaprint.ru>