

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

ТРИДЦАТЬ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

13–15 марта 2025 г.

МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



МОСКВА

НИУ «МЭИ»

2025

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:
P 154 Тридцать первая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (13–15 марта 2025 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2025. — 1244 с.

ISBN 978-5-907732-36-0

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 978-5-907732-36-0



9 785907 732360 >

© Авторы, 2025

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2025

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Ректор НИУ «МЭИ» **Н.Д. Роголев** (председатель)

Проректор по науке и инновациям НИУ «МЭИ» **И.И. Комаров** (сопредседатель)

Первый проректор НИУ «МЭИ» **В.Н. Замолодчиков** (сопредседатель)

Проректор по международной деятельности НИУ «МЭИ» **А.Е. Тарасов**
(сопредседатель)

Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Р.Р. Насыров** (сопредседатель, ответственный секретарь)

Директор ИЭТЭ НИУ «МЭИ» **М.Я. Погребиский** (член программного и оргкомитета)

Директор ИРЭ НИУ «МЭИ» **Р.С. Куликов** (член программного и оргкомитета)

Директор ИТАЭ НИУ «МЭИ» **А.В. Дедов** (член программного и оргкомитета)

Директор ИЭЭ НИУ «МЭИ» **В.Н. Тульский** (член программного и оргкомитета)

Директор ИВТИ НИУ «МЭИ» **С.В. Вишняков** (член программного и оргкомитета)

Директора ЭнМИ НИУ «МЭИ» **О.М. Митрохова** (член программного и оргкомитета)

Директор ИЭВТ НИУ «МЭИ» **И.А. Щербатов** (член программного и оргкомитета)

Директор ИнЭИ НИУ «МЭИ» **А.Ю. Невский** (член программного и оргкомитета)

Директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ» **Т.А. Шестопалова** (член программного и оргкомитета)

Зав. каф. ИЭиОТ НИУ «МЭИ» **О.Е. Кондратьева** (член программного и оргкомитета)

Зав. каф. МЭП НИУ «МЭИ» **Н.Л. Кетоева** (член программного и оргкомитета)

Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске **А.С. Федулов** (член программного и оргкомитета)

Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжский **М.М. Султанов** (член программного и оргкомитета)

Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе **С.А. Абдулкеримов** (член программного и оргкомитета)

Директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково (Энергетический колледж) **Е.Е. Кузнецова** (член программного и оргкомитета)

Доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ» **Толба Мохамед Али Хассан** (член программного и оргкомитета)

Заведующий ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ» **А.О. Горбунова** (член оргкомитета)

Ведущий программист ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ» **А.И. Смыслина** (член оргкомитета)

Программист ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ» **Д.Р. Рогов** (член оргкомитета)

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: Балакин Дмитрий Александрович

*И.А. Сукач, студ., К.С. Честных, студ.;
рук. А.А. Меркулов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

БАЗА ДАННЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ НА ПАВ

В данной работе рассматривается применение баз данных для хранения частотных характеристик датчиков[1] на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в представлении эквивалентных схем Бартерворта Ван-Дайка с N количеством плеч (БВД- N), модифицированной Бартерворта Ван-Дайка с N плеч (МБВД- N), параллельной Мейсона и последовательной Мейсона[2] с возможностью загрузки и выгрузки в представлении частотной характеристики S_{11} .

Проблема хранения в представлении S_{11} заключается в объеме данных, если необходимо записать в диапазоне от 214 МГц до 234 МГц с шагом 10 кГц и 1000 частотных характеристик в случае датчика температуры в диапазоне от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ с шагом $0,1^{\circ}\text{C}$ выходит 6000000 значений с плавающей точкой, выходит 5МБ, в случае с БВД-3 9 кБ, в случае с МБВД-3 11 кБ.

Таким образом, существенно уменьшается объем занимаемой памяти в базах данных, что существенно облегчает проектирование автоматических систем, которые должны поддерживать множество датчиков.

Существенным моментом является алгоритм автоматического перевода частотной характеристики в параметры эквивалентной схемы и обратно, снимает необходимость ручного подбора параметров эквивалентной схемы. Таким образом повышается простота внесения новых и поддержки старых датчиков. Также особенностью является возможность выбора количества плеч, учитываемых в схеме, что дает вариативность в используемых данных и уменьшает среднеквадратичную ошибку передачи кривой характеристики резонатора.

Литература

1. **А.Л. Ткачев. В.М. Мусалимов.** Классификация акустических датчиков. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 37.
2. **Mason W.P., Thurston R.N.** Physical Acoustics vol.15 1981.

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

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МИКРОДОПЛЕРОВСКИХ СИГНАТУР В СРЕДЕ ENGEЕ

На сегодняшний день одним из вызовов в обработке радиолокационных сигналов является обнаружение и классификация малоразмерных объектов, в частности, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) типа «дрон». Ситуация осложняется тем, что БПЛА летит на предельно низкой высоте, как следствие в радиолокационной станции (РЛС) наводится ряд пассивных помех от подстилающей поверхности. Кроме того, геометрические размеры БПЛА соизмеримы с орнитологическими показателями птицы, что выражается схожестью эффективной поверхностью рассеяния. В результате, существенно увеличивается вероятность ложных тревог в РЛС. Из этого следует, что классификация БПЛА от птиц является актуальной задачей.

В докладе рассматривается моделирование откликов РЛС от птиц и БПЛА. После первичной обработки отклик представляет собой спектрограмму отраженного сигнала с ярко выраженной периодической структурой, обусловленной вращением лопастей БПЛА и взмахами крыльев птиц. Часто такую картину называют микродоплеровскими сигнатурами [1]. Путем вариации конструктивных параметров БПЛА и размеров птиц можно получить набор картин, представленных на рисунке 1. Этот набор выступает в качестве данных для обучения сверточной нейронной сети для задачи классификации. В качестве инструмента выступает среда моделирования Engеe [2].

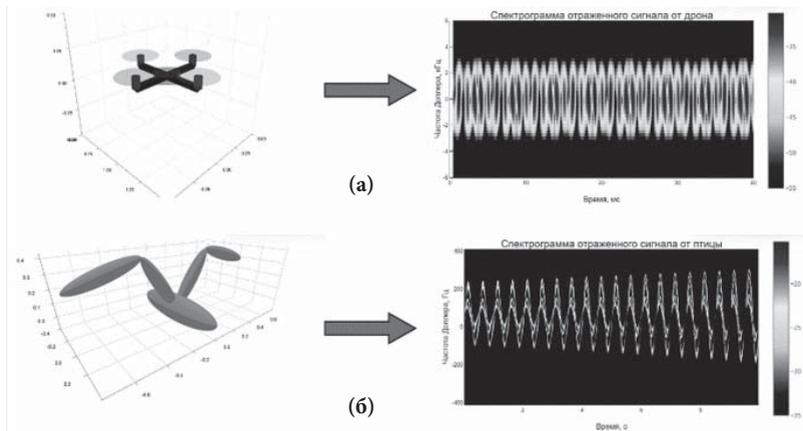


Рис. 1. Модели объектов и соответствующие спектрограммы: (а) БПЛА; (б) птица

Литература

1. Victor C. Chen. The Micro-doppler Effect in Radar — Artech House, 2011: 37.
2. Электронный ресурс: <https://start.engee.com>

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

МЕТОД ОЦЕНКИ ЗАТУХАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ $N \times N$ КОММУТАТОРОВ ВЫСОКОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Современная тенденция развития телекоммуникационных стандартов связи приводит к все большим требованиям быстродействия, пропускной способности и защищенности многоабонентских информационных сетей [1–2]. При этом высокие параметры быстродействия достигаются ценой ухудшения энергетики в системе, ростом вносимых потерь.

В данной работе решается задача оценки затухания светового пучка в быстродействующей полностью оптической сети (рис. 1) на основе ранее предложенных матричных $N \times N$ коммутаторов с децентрализованным управлением [2].

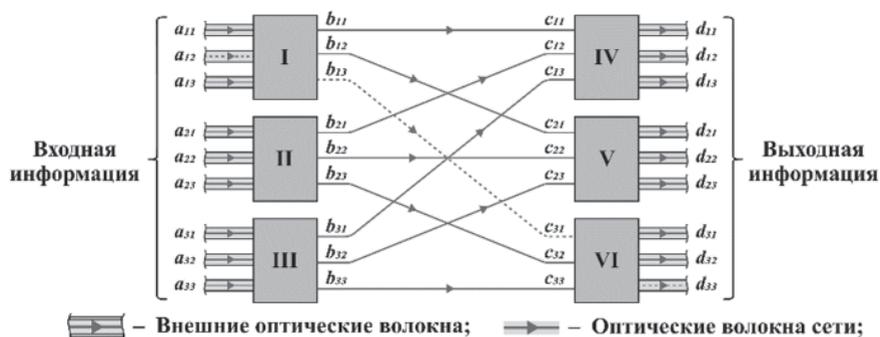


Рис. 1. Структура оптической децентрализованной сети 16x16

Решением системы волновых уравнений Максвелла найдены аналитические выражения, описывающие зависимость коэффициентов отражения и прохождения пучка от параметров ключа и длины волны. Полученные результаты позволяют оценить затухание пучка, связанное с его неполным отражением, а также определить энергетический потенциал для каждого коммутатора в системе, что является важной задачей при построении информационных сетей большой емкости и высокой сложности.

Литература

1. Maier M., Ebrahimpzadeh A., Beniiche A., Rostami S. The Art of 6G (TAO 6G): how to wire Society 5.0. Journal of Optical Communications and Networking. 2022. № 14(2). P. A101–A112.
2. Вытовтов К.А., Барабанова Е.А., Иванов М.Г., Вытовтов Г.К. Модель оптического коммутатора с частотно-временным разделением сигналов и децентрализованным управлением // Автометрия. 2024. Т. 60, № 5. С. 102–110.

*К.С. Честных, студ., И.А. Сукач, студенты;
рук. А.А. Меркулов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПАВ ДАТЧИКАХ

В данной работе рассматриваются применения светочувствительных материалов в датчиках на поверхностных акустических волнах (ПАВ). На данный момент существуют различные классификации ПАВ датчиков по способу применения: термодатчики, датчики влажности, датчики вибраций, датчики крутящего момента и др [1]. Для увеличения области применения рассматриваемых устройств возможно разработать новый класс, основанный на использовании светочувствительных материалов.

Для грамотного проектирования ПАВ датчиков необходимо изучить другие виды светочувствительных приборов, такие как приемники оптического излучения (ПОИ). ПОИ — это устройства, предназначенные для преобразования энергии оптического излучения в другие виды энергии [2]. Их можно разделить на две большие группы: биологические (глаз, растительность и др.) и физические, к которым относят устройства, преобразующие различные виды излучения в электрический сигнал. Одним из классов физического приемника является фотонный (фотоэлектрический) приемник, принцип действия которого основан на внутреннем или внешней фотоэффекте.

Были изучены и описаны основные известные эффекты в материалах, такие как внешний фотоэффект, внутренний фотоэффект, вентильный фотоэффект и др. Определив, какие эффекты являются ключевыми для ПАВ датчиков, можно грамотно выбрать необходимые материалы. Учитывая особенность построения ПАВ датчиков, были рассмотрены зависимости эффектов от массогабаритных параметров, а также прочность и упругость материалов, обладающих фотоэффектом.

Исследование ключевых параметров ПОИ и ПАВ датчиков позволит в дальнейшем разработать усовершенствованную версию люксметра.

По итогам проделанной работы были выбраны основные материалы, обладающие светочувствительностью, а также была подобрана структура разрабатываемого устройства.

Литература

1. **А.Л. Ткачев, В.М. Мусалимов.** Классификация акустических датчиков // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 37.
2. **М.Д. Аксененко, М.Л. Бараночников.** Справочник по приемникам оптического излучения. — Москва «Радио и связь». — 1987.

*В.А. Сенокосов, У.А. Сушкова, И.А. Сукач, студенты;
рук. А.А. Меркулов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОД КАЛИБРОВКИ ОДНОПОРТОВОГО ВАЦ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ

В данной работе рассматривается алгоритм калибровки модели векторного анализатора цепей (ВАЦ), а также описываются факторы систематической погрешности ВАЦ для однопортовой калибровки.

Алгоритм калибровки вносит учет систематических погрешностей в измерение. К систематическим погрешностям относятся: направленность паразитного проникновения, согласование источника сигнала за счет паразитного отражения, частотная неравномерность отраженного сигнала, фазовые набеги по линии передач от порта ВАЦ до измеряемого прибора. Эти факторы необходимо учитывать при расчете коэффициента отражения от входа устройства — параметр S_{11} .

Для работы при различных условиях необходимо калибровать ВАЦ, учитывая внешние факторы, например, температуру. Данный процесс является трудоемким и сопровождается сменой калибровочных номиналов. Также схема может состоять из частей, которые имеют конечное число циклов нагрева.

В данной работе предлагается следующий способ однопортовой калибровки ВАЦ. Устройство трижды подвергается воздействию температуры:

- при измерении в режиме холостого хода;
 - при измерении в режиме короткого замыкания;
 - при измерении в режиме согласованной нагрузки;
- после чего происходит постобработка.

При калибровке ВАЦ, происходит учет влияния температуры, т.е. при помещении устройства в одном из режимов калибровки в условия низких температур, фиксируются параметры при заданном температурном интервале, для однопортовых устройств параметр S_{11} , после чего формуется калибровка для каждой из температур. Соответственно, улучшится точность калибровки за счет учета температуры.

Литература

1. **В.Г. Губа, А.А. Ладур, А.А. Савин.** Классификация и анализ методов калибровки // Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2011.
2. **Савин А.А.** Метод дополнительной калибровки и коррекции измерений векторного анализатора цепей // Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2015.

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

РАЗРАБОТКА ПРИЕМНИКА И ПЕРЕДАТЧИКА ПО СТАНДАРТУ DMR

В связи с уходом иностранных производителей раций возникла необходимость в разработке многофункциональной системы связи. Такие системы должны обладать гибкой структурой, то есть возможностью переключения того или иного режима работы (стандарта связи), в зависимости от требуемого сценария. Кроме того, они должны быть реализованы в единой аппаратной платформе (рис. 1). Это позволяет объединить несколько стандартов связи на одном устройстве и гибко конфигурировать параметры системы на плате. Стандарт DMR [1] применяется в подвижной радиосвязи, примером таких сценариев могут быть: боевые действия, взаимодействие между локомотивами и т.д.

В докладе представлены результаты переноса системы на плату, разработка алгоритмов взаимодействия между базовой станцией и радиостанцией, а также моделирование и демонстрация передачи пакетов между радиостанциями.

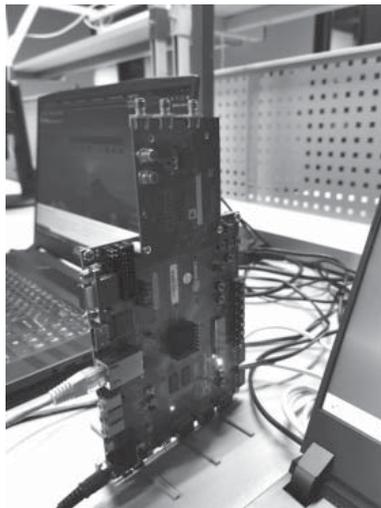


Рис. 1. Плата ZedBoard+ AD-FMCOMMS3

Литература

1. EETSI TS 102 361-1: the DMR air interface protocol [Электронный ресурс]. URL: http://radio51.ru/uploaded/1_DMR_air_interface_protocol.pdf

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.И. Гущин, асп.; рук. Н.Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИКА СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ ФАПЧ С ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ

Наибольшее распространение при массовом производстве аппаратуры находят синтезаторы частот на основе импульсной системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Это определяется их насыщенностью элементами цифровой схемотехники, что делает данные устройства технологичными и малогабаритными.

Методы исследования синтезаторов частот на основе указанной системы общеизвестны при использовании в ней импульсных с запоминанием или широтно-импульсных фазовых детекторов. Применение частотно-фазового детектора (ЧФД) упрощает конструкцию рассматриваемых устройств, поскольку решает проблему захвата по частоте. Но при этом также усложняется расчет динамических характеристик кольца из-за отсутствия модели системы.

В [1] методом Лапласа получена зависимость времени переходного процесса по частоте от начальной расстройки в синтезаторе частот на основе импульсной системы ФАПЧ с ЧФД и петлевым фильтром с интегрирующей емкостью и изодромным звеном. Показано, что при малых значениях расстройки время переходного процесса возрастает экспоненциально, а при больших расстройках — линейно.

С использованием проведенных в [1] исследований были получены аналогичные результаты для синтезаторов частот на основе импульсной системы ФАПЧ с ЧФД и другими петлевыми фильтрами: схемой с интегрирующей емкостью, изодромным звеном и дополнительной интегрирующей цепью и пропорционально-интегрирующим звеном. При анализе также была учтена задержка по времени сигнала ошибки, вызванная работой ЧФД, для трех вышеуказанных типов фильтров. Данное уточнение особенно важно для дальнейших исследований динамических характеристик синтезаторов частот на основе полностью цифровых систем ФАПЧ, поскольку в их цифровых петлевых фильтрах используется дискретизация ошибки по времени.

Литература

1. **Макаров, А.К.** Динамика синтезатора частоты с частотно-фазовым детектором / А.К. Макаров, Н.Н. Удалов // Сб. лекций, обзорные доклады, тезисы докладов 7-го научного совещания «Стабилизация частоты и формирование сигналов радио- и оптического диапазонов». — Минск, Минский радиотехнический институт, 1992. — С. 84–90.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРАЙВЕРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ В SPICE

При моделировании ключевых усилителей мощности усилителей важным параметром модели является быстродействие драйвера, управляющего МОП-транзисторами в составе усилителя. В большинстве случаев драйвер предполагается безынерционным и неискажающим элементом, используемым только для согласования уровней токов и напряжений между входным сигналом усилителя и требуемым напряжением затвористок полевого транзистора [1]. Однако, на относительно высоких частотах формирования входного сигнала ключевого усилителя с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), от 200 кГц и выше, инерционностью драйвера пренебрегать не следует.

Учитывать процессы, происходящие в драйверах МОП-транзисторов возможно на этапе моделирования с помощью SPICE-моделей транзисторов и драйвером к ним [2].

Особый интерес в данной области представляют транзисторы на основе карбида-кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN), как одни из наиболее быстродействующих ключей, по сравнению с традиционными кремниевыми МОП-транзисторами при равных токах стоков и напряжения стокисток [3].

В работе были рассмотрены модели драйверов для управления МОП-транзисторами различных производителей и сформулированы рекомендации по разработке собственных моделей драйверов. Для проверки работы драйверов были спроектированы модели широкополосных ключевых усилителей мощности с ШИМ.

Моделирование производилось в нескольких системах автоматизированного проектирования (САПР): LTspice, Qucs, SIMetrix. Необходимость использования различных средств моделирования объясняется тем, что драйвер комплексное устройство, описываемое SPICE-макромоделью, реализация которой зависит от выбранной производителем САПР. Также следует отметить, что некоторые производители закрывают доступ к отдельным сложным макромоделям своих устройств, что не позволяет их использовать в других средствах моделирования.

Результаты работы были применены автором доклада для моделирования широкополосных усилителей мощности с ШИМ, адаптации и модификации существующих SPICE-моделей драйверов.

Литература

1. **Legutko, P.** The Analysis and Research of the Integrated, 30 A MOSFET Gate Driver Dedicated to High-Frequency Applications / Piotr Legutko // *Electronics*. — 2024. — Vol. 13(16). — 3225 p. — URL: <https://doi.org/10.3390/electronics13163225>.
2. **Vogt, H.** Ngspice User's Manual Version 40 (ngspice release version) / H. Vogt [et al.] // 2021. — URL: <http://ftp.twaren.net/Gentoo/distfiles/f4/ngspice-40-manual.pdf>.
3. **Qin, H.** Parameters Design and Optimization of SiC MOSFET Driving Circuit with Consideration of Comprehensive Loss and Voltage Stress / Haihong Qin [et al.] // *Micromachines*. — 2023. — Vol. 14(3). — 505 p. — URL: <https://doi.org/10.3390/mi14030505>.

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

ФОРМИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА НА ПЛИС

Широкополосные хаотические сигналы находят применение в различных системах: системах связи, гидроакустике, криптографических системах и других. К достоинствам широкополосных систем на основе хаотических сигналов можно отнести эффективное использование полосы спектра сигналов, высокую скрытность передачи, высокую помехозащищенность [1].

Формирование хаотических сигналов возможно, как в аналоговой, так и цифровой формах. На практике применяются, как прямохаотические сигналы, так и сигналы с хаотической несущей или с хаотическими видами модуляции.

Основная задача, решаемая в работе, — проектирование генератора хаотических сигналов с заданной точностью на основе динамической системы Лоренца третьего порядка на ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы).

В работе реализован генератор хаотических сигналов на основе блоков с плавающей точкой и разрядностью 23 бита. Для проведения эксперимента использовались отладочный модуль Z-Turn Board компании MYIR Tech Ltd с ПЛИС Xilinx xc7z020, отладочная плата для ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь) AD5686R компании Analog Device, осциллограф.

На рис. 1 показаны эпюры осциллограмм фазового аттрактора системы Лоренца, спроектированного генератора, снятые с ЦАП. Фазовый аттрактор является одной из основных характеристик динамической системы, для его построения на два входа осциллографа подавались хаотические сигналы с координат X , Z (рис. 1,а), X , Y (рис. 1,б).

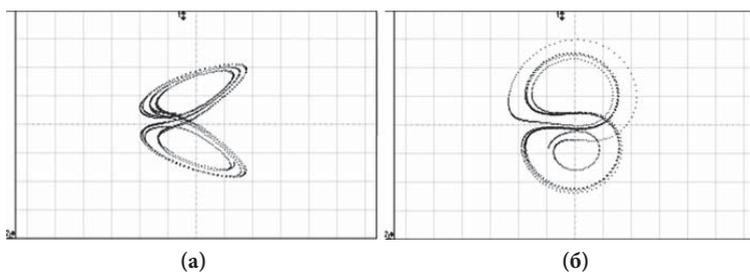


Рис. 1. Фазовый аттрактор динамической системы Лоренца

Предложенные подходы позволяют аппаратно формировать хаотические сигналы высокой точности.

Литература

1. **Кислов В.Я.** Применение хаотических сигналов в информационных технологиях // В.Я. Кислов, В.В. Колесов, Р.В. Беляев. — Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии (РЭНСИТ). — 2009, т. 1, № 1-2. — Динамический хаос. — М.: РАЕН. — С. 23–32.

Секция 3

УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

Radio signal processing devices

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

Секретарь секции: Филатов Виктор Александрович

Зин Ко Лин, студ.; рук. В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАРТФОНА

В настоящее время есть большая потребность в средствах беспроводного контроля и мониторинга функционирования различных устройств, например, для системы «Умного дома» или «Интернета вещей». Универсальные возможности представляют массово используемые смартфоны и технологически сопрягаемые с ними удалённые радиомодули. В представленной работе такой основой сопряжения является технология *Bluetooth*.

В докладе в качестве примера/иллюстрации рассматривается автономная система беспроводного контроля температуры и управления по радиоканалу *Bluetooth* электрическим нагревом или охлаждением из приложения на смартфоне с операционной системой *Android*. Основное внимание уделено реализации исполнительного устройства, обеспечивающего измерение температуры, передачу информации на смартфон и управление устройством регулирования температуры по командам от смартфона.

В разработанном устройстве использованы аналоговый полупроводниковый датчик температуры *TMP36*, восьмиразрядный микроконтроллер *PIC18F2520* и *Bluetooth* радиомодуль *HC-06* для взаимодействия со специальным приложением в смартфоне. Дополнительно для визуализации результатов измерения температуры в реальном времени непосредственно в исполнительном устройстве применён двухстрочный знаковый *LCD*-дисплей. Дисплей подключен к микроконтроллеру *PIC*, который обновляет информацию на экране, показывая температуру в градусах Цельсия.

Программное обеспечение для микроконтроллера разработано на языке *C* в среде проектирования *MPLAB*. Проектирование схемы устройства, моделирование его работы и отладка программного обеспечения выполнялась с использованием программы *Proteus*.

В докладе приводятся результаты проведенной разработки, выполненного моделирования и экспериментальных исследований системы управления температурой в макетном исполнении.

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

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПАЙКИ КОМПОНЕНТОВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Необходимость автоматического технического контроля соблюдения заданных норм технологического процесса определяет потребность выполнения представленной работы.

В докладе рассматривается разработка устройства для обеспечения температурного режима при выполнении операций пайки компонентов поверхностного монтажа. В состав устройства входят датчик температуры с выносной термопарой К-типа, управляющий микроконтроллер с регулятором режима, дисплейный модуль и блок управления нагревателем.

С помощью САПР Altium Designer разработана принципиальная схема устройства и помещаемая в корпус печатная плата для размещения усилителя сигнала термопары, коммутатора устройства нагрева на основе симистора, двухстрочного жидкокристаллического дисплея, механического инкрементального энкодера для управления режимом работы и блока сетевого питания. Взаимодействие узлов и функционирование устройства осуществляется при помощи микроконтроллера PIC18F2520 [1], также размещаемого на этой печатной плате.

Программное обеспечение для работы микроконтроллера разработано в среде MPLAB на языке Ассемблер [2]. Контроль функционирования устройства произведён с помощью осциллографа, на экране которого наблюдались импульсы, сформированные энкодером, а также информационные пакеты, передаваемые по последовательной шине I²C [3] на жидкокристаллический дисплей.

Выполнена сборка экспериментального макета разработанного устройства и отладка программного обеспечения для микроконтроллера. Работа устройства экспериментально проверена в различных режимах.

Литература

1. **Анна и Манфред Кениг.** Полное руководство по PIC микроконтроллерам — М.: МК-Пресс, 2007.
2. **Барри, Брэй.** Применение микроконтроллеров PIC 18: [пер. с англ.] / J. Barry, Brey — М.: Корона-Век, 2008.
3. **Семенов, Б.Ю.** Шина I²C в радиотехнических конструкциях / Б.Ю. Семенов — М.: Солон-Р, 2002.

*С.А. Марченко, студ.;
рук-ли В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»),
Е.С. Бурмистров, к.т.н. (СНПО «Элерон», Москва)*

РАЗРАБОТКА ИМИТАТОРА ТРЕВОЖНЫХ СИГНАЛОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Радиоканальные системы охраны и сигнализации широко применяются благодаря простоте развертывания, поскольку не нужны проводные коммуникации. Однако пониженная надежность радиоканала связи требует периодического контроля функционирования системы. Для этого применяются имитаторы тревожных сигналов — специальные устройства и программные средства, предназначенные для фальсификации различных аварийных ситуаций или тревожных сигналов, что позволяет оценить исправность канала связи с пультовым оборудованием.

В докладе рассматривается разработка имитатора на микроконтроллере EFR32FG12 [1] компании Silicon Labs со встроенным приёмопередатчиком и аппаратной поддержкой вывода информации на цветной графический дисплей. В состав функциональной схемы имитатора, показанной на рис. 1, входят следующие блоки: аккумулятор с модулем заряда, модуль управления на микроконтроллере с приёмопередатчиком, антенна, дисплейный модуль и сенсорный экран.



Рис. 1. Функциональная схема имитатора

В программе KiCad разработана схема модуля управления с приёмопередатчиком и выполнена трассировка печатной платы. Для микроконтроллера разработан алгоритм и отлажено программное обеспечение. Изготовлен действующий макет имитатора, размещенный в компактном корпусе. Проведена проверка функционирования устройства в охранной системе.

Литература

1. EFR32FG12 Gecko Proprietary Protocol SoC Family Data Sheet [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/efr32fg12-datasheet.pdf>

С.А. Тимохин, студ.;
рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ФОРМИРОВАТЕЛЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Современные технологии отображения информации требуют создания инновационных устройств, способных формировать изображения без использования экранов [1]. Лазерный проектор — это устройство, работа которого основана на развёртке лазерного луча.

В работе рассматривается разработка макета лазерного проектора с использованием лазерного модуля, двух зеркал, двух моторов, драйвера электропривода и блока управления на основе микроконтроллера и платы Arduino UNO [2]. Развёртка реализована с использованием высокоскоростных электроприводов, которые вращают с высокой частотой зеркала горизонтальной и вертикальной развёртки. Луч, направленный на первое зеркало, отразившись, попадает на второе зеркало, в результате отражения от второго зеркала с помощью луча появляется возможность рисовать разнообразные голографические изображения, напоминающие фигуры Лиссажу.

В работе исследуются программные и схемотехнические способы синхронизации фаз вращения зеркал и скоростей моторов, для формирования стабильных двухмерных изображений.

Дальнейшие исследования направлены на решение задачи получения трёхмерного изображения.

Результаты работы позволят создать прототип лазерного проектора способного формировать трехмерные изображения в воздухе без использования экрана, но с использованием среды для рассеивания лучей. Этот макет сможет взаимодействовать с пользовательским приложением для управления проекциями через смартфон.

Подобные устройства могут найти применение в медицине для визуализации сложных данных, в дизайне и архитектуре для демонстрации макетов, а также в образовательных целях и сфере развлечений.

Литература

1. **Кропоткин Д.А.** Применение голографии в современном мире / Д.А. Кропоткин, Д.О. Матыцин, О.В. Кравченко // Modern Science. — 2021. — № 1-2.
2. **Медведев С.И.** Программирование микроконтроллеров семейства avr / С.И. Медведев, Л.А. Белокопытова // Конкурс ЛУЧШИХ СТУДЕНЧЕСКИХ работ: сборник статей VII Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 05 февраля 2021 года. — Пенза: «Наука и Просвещение», 2021.

И.А. Меркулов, студ.;
рук-ли В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»),
Е.С. Бурмистров, к.т.н. (СНПО «Элерон», Москва)

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО ТЕПЛОВИЗОРА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

В настоящее время тепловизоры находят широкое применение в различных областях, включая мониторинг температуры электронных сборок при контроле функционирования и поиске неисправностей.

В докладе представлена реализация компактного программируемого устройства визуализации температуры компонентов, смонтированных на печатной плате. В основе устройства используется микроконтроллер STM32H7, который по интерфейсу UART [1] получает данные от тепловизионной матрицы MLX90640 размером 32x24 элемента. Изображение теплового поля выводится по интерфейсу SPI [2] с использованием технологии прямого доступа к памяти на цветной графический дисплей ILI9341 с диагональю 3.2 дюйма и разрешением 320x240 пикселей. Возможен вывод тепловизионного изображения по USB интерфейсу на экран персонального компьютера.

Программное обеспечение для микроконтроллера разработано в среде CubeIDE. Дополнительно для обработки и визуализации данных, поступающих с матрицы, создано программное обеспечение на языке Python 3.12 в среде PyCharm с использованием библиотек Numpy и OpenCV (CV-2). Для корректного функционирования использовалась настройка SPI-интерфейса, включая конфигурирование параметров полярности (CPOL) и фазы (CPHA) тактового сигнала в соответствии с режимами работы компонентов.

Компактность реализации рассматриваемого тепловизора достигнута размещением его компонентов на четырехслойной печатной плате, трассировка которой выполнена с использованием среды KiCAD.

В докладе представлены результаты применения реализованного устройства, демонстрирующие его эффективность и гибкость настройки посредством программных средств.

Литература

1. [Электронный ресурс] — Режим доступа: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)
2. [Электронный ресурс] — Режим доступа: Serial Peripheral Interface (SPI) for KeyStone Devices User's Guide (Rev. A)

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

ВЫБОР ФЕРРИТОВЫХ БУСИН В ВЫХОДНЫХ ФИЛЬТРАХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

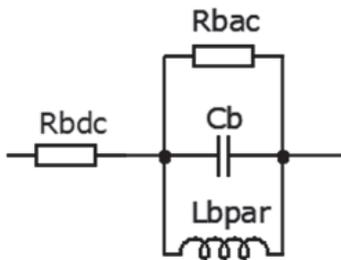


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения ферритовой бусины

распространённые схемы выходных фильтров — это LC и RLC фильтры. Эквивалентная схема замещения ферритовой бусины представлена на рис. 1, где R_{bdc} — сопротивление бусины при постоянном токе, C_b — «паразитная» составляющая емкости, L_b — индуктивность бусины, R_{bac} — потери по переменной составляющей тока. При формировании выходных фильтров ферритовые бусины сочетаются с одним или несколькими конденсаторами и резисторами.

На основе SPICE моделей в работе показано, что при правильном подборе схем и параметров элементов выходного фильтра использование ферритовых бусин позволяет существенно ослабить высокочастотные помехи. На модели фильтра показано, что индуктивность определяет частоту среза фильтра и влияет на диапазон подавляемых частот, слишком высокая индуктивность может привести к ухудшению динамических характеристик фильтра, резонансная частота дроселя должна быть значительно выше рабочей частоты источника питания, чтобы избежать резонансных явлений [2].

Выбор ферритовых бусин зависит от требований к источникам питания, включая рабочие токи, диапазон выходных шумов и габаритные размеры. Правильно спроектированный выходной фильтр является основой для обеспечения низкого уровня шумов в источниках питания.

Литература

1. **Ferrite Beads for EMI Suppression:** Selection Guide and Application Notes. — Kyoto: Murata Manufacturing Co., Ltd., 2019. — URL: <https://www.murata.com>
2. **Texas Instruments.** Understanding Ferrite Beads and Their Role in EMI Filtering. — URL: <https://www.ti.com>

А.С. Слепов, студ.; рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОВЕРКА СХЕМЫ МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) активно используется в различных областях, таких как телекоммуникации, обработка изображений, видео и других. Одним из инструментов для реализации эффективных и высокопроизводительных систем ЦОС являются модули на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и процессоров [1]. Эти устройства позволяют разрабатывать гибкие и масштабируемые решения, отвечающие требованиям высокой производительности и гибкости реализаций.

Для научной работы на кафедре Формирования и обработки радиосигналов НИУ «МЭИ» был закуплен модуль ЦОС одного из китайских производителей, на базе микросхемы Zynq-7100. Этот чип является системой на «кристалле», сочетающим программируемую логику (FPGA) и двухъядерный процессор ARM. Модуль ЦОС позволяет реализовать разные алгоритмы обработки сигналов с поддержкой для передачи различных высокоскоростных интерфейсов обмена [2].

К сожалению, материалы и элементы схем, предоставленные производителем, оказались очень неполными, содержали много неточностей. Поэтому целью работы было — воссозданию полной принципиальной схемы модуля и устранение выявленных ошибок.

Проектирование принципиальной схемы проводилось в специализированных САПР (Altium Designer, KiCad). Оценка подключения линий проводилась с помощью мультиметра и осциллографа.

В процессе работы с модулем были выявлены и устранены многочисленные схемотехнические ошибки, присутствующие в переданных производителем материалах. На основе полученных результатов была восстановлена принципиальная схема модуля ЦОС, проведена проверка модуля с использованием программы для ПЛИС на языке VHDL.

Используемые подходы по обратному инжинирингу принципиальной схемы устройства позволяют обнаруживать и устранять конструкторские недочёты различных цифровых модулей ЦОС.

Литература

1. **Соловьев В.В.** Архитектуры ПЛИС фирмы Xilinx: CPLD и FPGA 7-й серии М.: Горячая линия — Телеком, 2016.
2. **Louise H. Crockett, Ross A. Elliot, Martin A. Enderwitz, Robert W. Stewart** The Zynq Book Tutorials, University of Strathclyde, 2014.

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

РАЗРАБОТКА ПОДОПЫТНОГО УСТРОЙСТВА КАМЕРЫ ТЕПЛА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Необходимость модернизации лабораторного практикума по курсу «Конструирование и технология производства радиоэлектронных средств» определяет, в частности, потребность обновления технических средств в составе используемой камеры тепла.

Доклад посвящён применению в учебных целях камеры тепла с разработанной ранее системой управления на базе микроконтроллера [1]. Рассматривается решение задачи оснащения камеры подопытным устройством, позволяющим наглядно демонстрировать температурные изменения ёмкости конденсаторов различной технологии изготовления.

В качестве подопытного устройства (объекта испытаний) предложен генератор импульсов с настраиваемой частотой. Генератор построен на базе транзисторов отечественного производства с применением трёх вариантов конденсаторов: керамических, плёночных и электролитических. Их температурные коэффициенты ёмкости влияют на точность настройки частоты генератора. Различные типы конденсаторов используются в одном устройстве, выбор варианта реализован с помощью внешних элементов управления. Объект испытаний подключается к источнику питания и измерительной аппаратуре (частотомер и осциллограф) через разъём РШ2Н-1-29, имеющийся в камере тепла. В процессе выполнения лабораторной работы студенты измеряют частоту генератора при различных температурах окружающей среды и сравнивают экспериментальную зависимость с расчётной.

Разработка устройства заключалась в выборе компонентной базы, проектировании электрической схемы и топологии печатной платы, изготовлении платы и сборке конструкции. Также подготовлена расчётная зависимость частоты генератора от температуры и сформулированы методические указания к выполнению лабораторной работы.

Разработанное устройство прошло пробные испытания в камере тепла и планируется к применению в учебном процессе.

Литература

1. **Пшеничников, М.О.** Реализация системы управления камерой тепла на базе микроконтроллера // Радиотехника, электроника и энергетика: тез. докл. XXX МНТК студентов и аспирантов — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. — С. 56.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛНОСТЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ АМ-ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАИС

Доклад посвящен реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) полосового фильтра (ПФ) для АМ-детекторного приемника. Такой полосовой фильтр можно применять и в других схемах, где необходима частотная селекция радиоволн. 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 [1].

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с особенностями реализации ПФ высокого порядка для АМ-детекторного приемника в базе переключаемых МОП-конденсаторах [2]. Предлагается его схемотехническая реализация на ПАИС с использованием конфигурируемых аналоговых модулей. Отметим, что использование ПАИС, позволяет решать проблему создания разнообразных аналого-дискретных устройств, кардинально снизив стоимость и габариты [2].

В докладе предложен пример построения в SC-базисе активного ПФ четвертого порядка в дифференциальном исполнении. Конфигурирование ПАИС осуществлялось с использованием программного пакета Anadigm Designer 2. Полоса пропускания такого фильтра на переключаемых МОП-конденсаторах составляет 0.5 МГц, центральная частота 1.75 МГц. Приводятся результаты физической реализации такого ПФ на ПАИС AN221E04 компании Anadigm.

Литература

1. **Богатырев Е.А.** Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **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.

Кью Йе Лвин, студ.; рук. В.А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

КЛАСТЕРНО-ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРА РИТМОГРАММЫ СЕРДЦА

Целью работы является исследование динамики фрактальных параметров в частотных кластерах спектра ритмограммы сердца с классификацией этих параметров в соответствии с состоянием человека.

Ритмограмма сердца представляет собой дискретную зависимость R-R интервалов за время наблюдения. Фракталами называются геометрические объекты, обладающие свойством самоподобия. Спектры мощности фрактальных объектов имеют спадающий характер и некрatное соотношение между дискретными частотами. Частотные составляющие спектра ритмограммы сердца включают области с наиболее выраженными спектральными линиями. Такие частотные области образуют частотные кластеры в спектре ритмограммы сердца. Спектр мощности ритмограммы сердца можно аппроксимировать степенной функцией вида: $S(f)=f^{-\beta}$ [1].

Исследования показали, что величина β связана с функциональным состоянием человека. В проведенных экспериментальных исследованиях частотные кластеры были выделены из спектров мощности ритмограмм сердца различных испытуемых с помощью полосовой фильтрации. Для каждого кластера были исследованы следующие фрактальные параметры [2]:

- 1) размерность Хаусдорфа-Безиковича — характеризует структуру фрактального объекта;
- 2) параметр Херста — характеризует степень “изрезанности” ритмограммы сердца;
- 3) параметр β — характеризует быстроту спадания огибающей спектра.

В процессе работы были исследованы фрактальные параметры для двух категорий испытуемых: больных диабетом и спортсменов высокого класса. Для этих категорий вычислялись фрактальные параметры, которые показали возможность диагностирования различных патологий у испытуемых.

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. Учебное пособие для вузов. — М: «Издательский дом МЭИ», 2008.
2. **Аскерова Н.Н.** Магистерская диссертация. МЭИ, 2014.

К.В. Воронцов, студ.; рук. А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Использование программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) для создания нейросети распознавания изображений имеет ряд преимуществ: высокая производительность ПЛИС ускоряет расчеты, экономит ресурсы и позволяет решать более сложные задачи распознавания в реальном времени. Для распознавания изображений применяются различные нейросети [1], такие как свёрточные нейронные сети, визуальные преобразователи и многослойный перцептрон. Для нашей задачи будет применяться свёрточная нейронная сеть, так как она обладает следующими преимуществами: способность выявлять локальные признаки на изображении, меньшее количество настраиваемых весов и инвариантность к перемещению.

Эта работа одна из немногих, в которых рассматривается построение нейросети на ПЛИС. Проектирование модели свёрточной нейронной сети и процесс её обучения выполняется в программном пакете *MATLAB*. Обученная модель нейросети может интегрироваться в ПЛИС, в качестве которой применяется отладочный модуль для разработки *Tang Primer 20K*, который содержит ПЛИС *GW2A-LV18PG256C8/I7* компании *GOWIN Semiconductor* (рис. 1).

Модуль позволяет подключить видеокамеру по DVP-интерфейсу. Для программирования и отладки используется порт JTAG.

В докладе приводятся результаты разработки нейросети на ПЛИС для распознавания объектов.

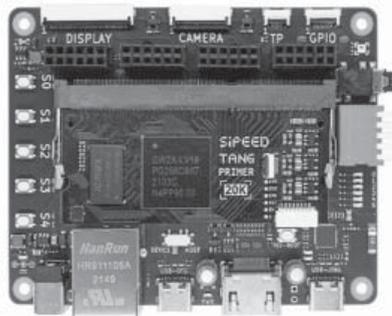


Рис. 1. Модуль для разработки Tang Primer 20K

Литература

1. Мустаев, А.Ф. Применение нейросетей в распознавании изображений / А.Ф. Мустаев // «ВЕСТНИК НАУКИ». — 2019. — Вып. (Т.) 00. — № 7.

А.А. Ильина, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛОГО-ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕМНОЖИТЕЛЯ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ ДЛЯ ФОРМИРОВАТЕЛЯ КВАДРАТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАИС

Данная работа посвящена реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) аналого-дискретного перемножителя для формирователя низкочастотных квадратурных составляющих. Для получения низкочастотных квадратурных составляющих может быть использован следующий подход: сначала формируются аналоговые низкочастотные составляющие сигнала, после чего они преобразуются в цифровую форму с помощью двух синхронно работающих аналого-цифровых преобразователей [1]. Перемножители используются для умножения входного сигнала на опорное колебание. Таким образом, проблема их проектирования продолжает оставаться актуальной. Реализация устройств в SC-исполнении 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 фазировки управляющих последовательностей для МОП-ключей, необходимых для реализации аналого-дискретного перемножителя в базе переключаемых МОП-конденсаторов. Предлагается его схемотехническая реализация на ПАИС. Отметим, что использование ПАИС позволяет решать проблему реализации аналого-дискретного устройства, кардинально снизив стоимость и габариты [3].

Предложен пример построения в SC-базисе аналого-дискретного перемножителя. Перемножитель функционирует на частотах до 1 МГц. В докладе приводятся результаты физической реализации такого перемножителя на ПАИС.

Литература

1. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. — 3-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
2. **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.
3. **Богатырев Е.А.** Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

Хтет Наинг, студ.; рук. В.А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТРАЖЁННОГО СИГНАЛА В ДИАГНОСТИЧЕСКОМ БИОРАДИОЛОКАТОРЕ

Рассматриваемый в докладе диагностический биорадиолокатор представляет собой программно-аппаратный измерительный комплекс, который в отражённом от человека сигнале позволяет выделить диагностический компонент, характеризующий, например, состояние сердечно-сосудистой системы [1].

В спектре такого диагностического компонента необходимо с высокой точностью определить частоту максимальной гармоники. Точность определения местоположения этой гармоники на частотной оси определяется длиной выборки. Чем длиннее выборка, тем точнее результат. Однако при длинной выборке спектр сигнала в процессе широко применяемого преобразования Фурье теряет важные детали за счет усреднения.

Следовательно, такой алгоритм спектральной обработки не обеспечивает необходимую точность измерения искомой частоты. Для более точного измерения рассматриваемым биорадиолокатором используется метод фильтрации отраженного сигнала согласованным фильтром [2], роль которого выполняет *алгоритм спектральной маски* [1].

Особенность алгоритма заключается в учёте влияния верхних гармоник спектра временной выборки пульсового компонента отраженного сигнала. Процедура его выполнения состоит в последовательном сканировании маской по всем дискретным линиям спектра временной выборки, скалярном перемножении маски на спектр для каждой спектральной линии и выборе максимального значения результата перемножения. Оно и определяет точное положение максимальной гармоники спектра на частотной оси.

В докладе представлен анализ программной реализации этого алгоритма и приводятся результаты экспериментальных исследований, которые показывают эффективность алгоритма при спектральной обработке реального сигнала.

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Исаков В.Н.** Курс лекций по дисциплине «Статистическая теория радиотехнических систем». — <http://www.circuits-signals.narod.ru>

О.В. Конухина, студ.; рук. В.А. Федоров, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БИОЛОКАТОРЕ

Рассматриваемый в докладе биолокатор применяется в диагностике сердечного и дыхательного ритма с целью выявления патологических состояний, потому от него требуется высокая точность и надежность в работе, что делает актуальным вопрос его технического обслуживания и модернизации.

Первая часть работы сосредоточена на комплексной проверке работоспособности биолокатора. В связи с тем, что устройство в последнее время демонстрировало сбои в работе, проведены тесты, направленные на выявление причин неисправностей. Основным рассматриваемый аспект — настройка генератора, который является ключевым элементом биолокатора. Установление оптимального, для специфики сферы применений, работоспособного напряжения генератора — еще один важный этап, который обеспечивает стабильность работы устройства.

В данном пункте описываются средства диагностики, включая проверку всех компонентов устройства, а также представлены результаты настройки и наладки генератора биолокатора, измерения его вольтамперной характеристики и настройки генератора под номинальное напряжение.

Во второй части работы рассматриваются методы обработки сигналов, применимые к доплеровской радиолокации миллиметрового диапазона длин волн, а также информативность обработанных ими сигналов и их эффективность на данном радиолокационном устройстве.

Поскольку качество обработки сигналов напрямую влияет на точность и достоверность получаемых данных, в статье представлены ранее использованные [1] и современные [2] алгоритмы и методы фильтрации, и подходы к анализу данных сигнала, а также их эффективность и оценка качества полученных результатов. Предложенные подходы могут быть использованы для разработки и совершенствования других подобных устройств.

Литература

1. **Федоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. Учебное пособие для вузов. — М: «Издательский дом МЭИ», 2008.
2. **Самохина О.И.** Магистерская диссертация. МЭИ, 2016.

Е.Ю. Козлова, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРА В БАЗИСЕ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ

Обсуждаемая в докладе работа посвящена реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) сигма-дельта модулятора. В основе функционирования сигма-дельта модулятора лежит идея периодического неполного уравнивания заряда конденсатора на интеграторе. Нередко сигма-дельта модуляция применяется в микросхемах АЦП и ЦАП звукового диапазона частот, что в значительной мере обусловлено сравнительно небольшими требованиями таких систем к уровню шумов и существенными требованиями к динамическому диапазону устройства [1].

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].

Предлагается оригинальная схемотехническая реализация SC-модулятора в базисе на переключаемых МОП-конденсаторах в составе одноразрядного ЦАП. В докладе обсуждаются такие особенности реализации на переключаемых МОП-конденсаторах сигма-дельта модулятора, как выбор фазировки тактирующих последовательностей при коммутации МОП-ключей [3], схемотехнические решения для уменьшения влияния шумов коммутации, выбор фазировки при соединении базовых функциональных блоков и т.д. Базовыми функциональными блоками служат SC-инверторы и SC-перемножители. При подключении к выходу устройства SC-интегратора формируется выходное напряжение ЦАП, что иллюстрируется представленными в работе временными диаграммами.

Литература

1. **Голуб В.** Сигма дельта модуляторы и АЦП // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 4, 2023.
2. **Торопчин Д.С.** Теоретические и практические аспекты проектирования устройств на переключаемых МОП-конденсаторах // Вестник МЭИ. 2014. № 3.
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.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ ДЛЯ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ МОП-КОНДЕНСАТОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАИС

Супергетеродинные приемники используются в радиовещании, в профессиональной и любительской радиосвязи, в телевизионных системах и т.д. Таким образом, вопросы, связанные с их проектированием, продолжают оставаться актуальными.

Представленная в докладе работа посвящена реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) фильтра нижних частот (ФНЧ) высокого порядка для супергетеродинного приемника. Схемотехника на переключаемых МОП-конденсаторах обладает рядом достоинств по сравнению с чисто аналоговыми устройствами: полностью дифференциальная архитектура, возможность получения прецизионных устройств обработки сигналов, простота сопряжения с аналоговыми и цифровыми устройствами, высокая температурная стабильность и т.д. [1].

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с особенностями реализации ФНЧ высокого порядка для супергетеродинного приемника в базе на переключаемых МОП-конденсаторах [2], а именно: выбор фазировки для коммутации МОП-ключей, соединение МОП-ключей таким образом, чтобы уменьшить влияние шумов коммутации и т.д. Предлагается его схемотехническая реализация на ПАИС, поскольку использование ПАИС позволяет решать проблему создания аналого-дискретных устройств, кардинально снизив стоимость и габариты [3].

Предложен пример построения в SC-базисе активного ФНЧ шестого порядка в дифференциальном исполнении. Фильтр реализован по последовательной структуре, состоит из трех SC-блоков второго порядка. Полоса пропускания такого фильтра на переключаемых МОП-конденсаторах составляет 1 МГц. Приводятся результаты физической реализации такого ФНЧ на ПАИС.

Литература

1. **Богатырев Е.А.** Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
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.
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.

Секция 4

АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Antennas and propagation

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

Секретарь секции: Михайлов Алексей Михайлович

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

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АНТЕНН РЕШЁТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Настоящая работа представляет продолжение поиска решения задачи, описанной в [1]. Требуется отыскать такое расположение антенных элементов неэквидистантной решётки, которое в результате позволит получить самый низкий уровень боковых лепестков (УБЛ) в диаграмме направленности (ДН) решётки.

Ввиду отсутствия аналитического решения, оптимизация геометрической структуры неэквидистантной решётки осуществляется перебором. Одним из методов перебора является генетический алгоритм (ГА). Структура ГА для решения этой задачи описана в [2].

В рамках работ по оптимизации геометрической структуры была доработана программа для пакета Matlab/GNU Octave для построения сечений диаграммы направленности (ДН) случайной антенной решётки с оптимизацией её структуры с помощью генетического алгоритма.

Была получена зависимость уровня УБЛ от количества элементов решётки.

Уровень дифракционных максимумов (УБЛ) удалось снизить на 10,5 дБ с использованием 250 антенных элементов на частоте 10 ГГц.

Литература

1. **Михайлов А.М.** Оптимизация геометрической структуры протяжённого антенного поля с применением генетического алгоритма / А.М. Михайлов, С.В. Оробченко, К.В. Кочка [и др.] // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 29 февраля — 02 2024 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2024. — С. 60.
2. **Mikhailov, A.M.** Optimization of an Extended Antenna Field / Mikhailov A.M., Mikhailov M.S., Komarov A.A., Orobchenko S.V. // 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1–5.

В.А. Уварова, студ.;
рук. С.В. Крутиев, к.ф.-м.н., доц. (ЮФУ, Ростов-на-Дону)

ПОЛОСОВЫЕ ФИЛЬТРЫ С КОММУТИРУЕМЫМИ ЛИНИЯМИ КВАЗИЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА

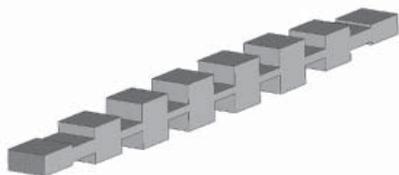


Рис. 1. Компьютерная модель полосно-пропускающего фильтра на волноводе WR-137

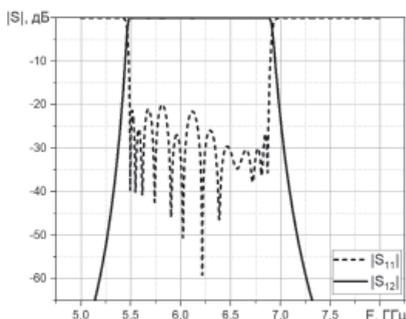


Рис. 2. АЧХ полосно-пропускающего фильтра на волноводе WR-137

В данной работе представлен полосно-пропускающий фильтр с коммутируемыми линиями квазиэллиптического типа. Полосовые фильтры с коммутируемыми линиями квазиэллиптического типа представляют собой передовые устройства, предназначенные для обработки сигналов в современных радиотехнических системах. Эти фильтры характеризуются высокими параметрами избирательности и стабильности, благодаря чему они находят широкое применение в различных областях, включая связь, радиолокацию и беспроводные технологии [1].

Компьютерная модель волноводного полосно-пропускающего фильтра представлена на рис.1. Используемый волновод WR-137, резонаторы фильтра имеют различную высоту и длину. Амплитудно-частотная характеристика изучаемого фильтра представлена на рис. 2.

Литература

1. Уварова В.А., Крутиев С.В. Полосовой фильтр с входным поглощающим резонатором квазиэллиптического типа // ВНКСФ-28. Материалы конференции. Информационный бюллетень. Сборник тезисов докладов. В 1 т. Новосибирск, 2024. С. 297–298.

*А.А. Новиков (ИТПЭ РАН), К.С. Сычев.,
К.С. Харлампьев, аспиранты;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) [1–3] обладают высокими разрешающими способностями и используются для получения радиоконтрастного изображения облучаемой поверхности. Разрешающая способность РСА по площади обеспечивает детальность получаемого изображения. РСА устанавливается на движущемся носителе, например, на летательном аппарате (ЛА), благодаря чему осуществляется синтез апертуры [1]. В работе рассматривается расчет и моделирование антенного устройства (АУ) РСА.

Для получения узкой диаграммы направленности (ДН) требуется увеличить число элементов антенной решетки (АР) [3–5], что может быть неприменимо с точки зрения массогабаритных характеристик, с учетом расположения РСА на ЛА. Для уменьшения ширины ДН и улучшения энергетических показателей в составе АУ РСА может быть использован рефлектор [6].

В качестве облучателя рефлектора РСА может выступать многолучевая антенная решетка (МАР) [3–5], позволяющая получить веер из большого количества лучей. Для РСА требуются МАР, обладающие небольшим сектором сканирования, а также малой шириной ДН. Кроме того, для обеспечения помехозащищенности должны выполняться ограничения на уровень боковых лепестков (УБЛ), и работа в двух поляризациях. Таким образом, рассматриваемое АУ РСА представляет собой гибридную зеркальную антенну [6]. С помощью облучателя в виде МАР могут быть реализованы различные режимы работы РСА [1], требующие сканирования лучом ДН носителя.

Литература

1. **Баскаков А.И.** Локационные методы исследования объектов и сред. — М.: Академия, 2011.
2. **Shashi Kumar et al.** Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing: Techniques and Applications, Taylor&Francis Group, 2023.
3. **Воскресенский Д.И.** Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. — М.: Радиотехника, 2012.
4. **Пономарев Л.И.** Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
5. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ. — М.: Высшая школа, 1988.
6. **Коган Б.Л.** Основы техники зеркальных антенн. — М.: Издательство МЭИ, 2023.

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

РАЗРАБОТКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПЕЧАТНЫХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

Широкая полоса рабочих частот — одно из главных на сегодняшний день требований к антеннам, применяемым в системах связи и системах специального назначения.

Излучатель представляет собой составную спираль на диэлектрической подложке из фторопласта для удержания спирали ($\epsilon=2,1$; $\text{tg}\delta=0,001$) и резонатором для однонаправленного излучения. В конструкцию составной спирали входят двухзаходная печатная логарифмическая спиральная антенна и двухзаходная печатная архимедова спиральная антенна. Обе спирали обеспечивают круговую поляризацию. Питание осуществляется микрополосковой линией с трансформатором сопротивления (вход 50 Ом). Для минимизации влияния резонатора на работоспособность излучателя в части рабочей полосы частот, поляризации и потерь на отражение в составе антенны присутствует согласующее устройство цилиндрической формы.

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

Цель работы заключается в разработке антенны с требуемыми характеристиками, анализе 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.
5. **Yongwei Zh., Brown A.K.** Archimedean and equiangular slot spiral antennas for UWB communications // 36th European Microwave Conference. September 2006. P. 146–154.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПЕЧАТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время 3D печать находит широкое применение в различных отраслях науки и промышленности. Реализованы технологии, позволяющие распечатать детали из пластика, физико-механические характеристики которых не уступают характеристикам традиционных материалов. Благодаря применению аддитивных технологий появляется возможность не только улучшить методы изготовления радиопрозрачных конструкций, но и менять эффективную диэлектрическую проницаемость, что позволяет минимизировать влияние материала на характеристики укрываемых антенных систем.

Целью работы является подтверждение возможности использования аддитивных технологий при изготовлении радиопрозрачных конструкций. В ходе работы проведен математический расчет диэлектрической проницаемости образцов с использованием формул смешения. Также проведено моделирование S-параметров полученных структур и извлечение из результатов эффективной комплексной диэлектрической проницаемости для дальнейшего сравнения полученных результатов с результатами измерения.

Для подтверждения расчетных результатов по получению материалов с определенной диэлектрической проницаемостью напечатаны образцы методом FDM (fused deposition modeling). Образцы выполнены с использованием различных типов филаментов и значений коэффициента заполнения ($S=100\%$ и $S=50\%$). На изготовленных образцах проведены проверки диэлектрических характеристик для описанных типов филамента. Результаты измерений приближенно совпадают с результатами расчета и моделирования. По окончании работы сделаны выводы о влиянии конструкций из полученных материалов на характеристики антенных систем.

Литература

1. LICHTENECKER K. Die Herleitung Des Logarithmischen Mischungsgesetzes aus Allgemeinen Prinzipien der Stationären Stromung // Phys. Z. — 1931. — Т. 32. — С. 255–260.
2. Chen X. et al. Robuste Methode zum Abrufen der konstitutiven effektiven Parameter von Metamaterialien // Physical Review E — Statistische, nichtlineare und weiche Materiephysik. — 2004. — Т. 70. — Nr. 1. — S. 016608.
3. Ермилов А.С. и др. Применение 3D-печати в изделиях ракетной техники // XLVII Академические чтения по космонавтике 2023. — 2023. — С. 276–285.

Н.А. Щеглова, студ.; рук. М.С. Михайлов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ X-ДИАПАЗОНА

В силу быстрого развития технологий и увеличением сфер их применения появилась необходимость в миниатюризации и расширению диапазона рабочих частот и сектора сканирования антенн и антенных систем. Это привело к созданию и развитию сверхширокополосных антенных решеток на основе микрополосковых структур, реализация опытных прототипов данного вида антенных решеток основана на многослойных печатных платах.

Работа над широкополосными антенными решетками ведется еще с 60-х годов по всему миру, заинтересованность к таким решеткам возникает из-за возможности увеличения ширины канала приема. Большой интерес вызывают низкопрофильные антенные решетки, основанные на сильно связанных диполях, получивших название PUMA (Planar Ultrawideband Modular Antenna). Коэффициент перекрытия границ рабочей полосы частот может достигать от 3 до 6 при секторе сканирования в Е и Н плоскостях $[-45^\circ; 45^\circ]$ или $[-60^\circ; 60^\circ]$.

У данных антенных решеток есть недостаток из-за несимметричного питания ног диполей в антенной решетке в виде возникновения синфазных помех, которые сужают рабочий частотный диапазон. Для устранения этого были разработаны два метода: уменьшение синфазных помех через образование резонансных петель и уменьшение синфазных помех на основе теории о ребристых волноводах.

Данная работа посвящена разработке антенной решетки X-диапазона с расширением диапазона рабочих частот на соседние диапазоны (С-, Ku-) с уменьшением синфазных помех на основе теории о ребристых волноводах, которая может быть рассмотрена на микрополосковых структурах.

Литература

1. **S.S. Holland, M.N. Vouvakis.** The planar ultrawideband modular antenna (PUMA) array // IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 60, № 1, January 2012, с. 130–140,
2. **John T. Logan, Rick W. Kindt, Michael Y. Lee, Marinos N. Vouvakis.** A New Class of Planar Ultrawideband Modular Antenna Arrays With Improved Bandwidth // IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 66, № 2, February 2018, с. 692–701.
3. **Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И.** Устройства СВЧ и антенны. — М.: Радиотехника, 2006.

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В АНТЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Искусственно созданные среды, чьи электромагнитные свойства не встречаются в природе, называются метаматериалами. Как правило, метаматериалы представляют собой периодические структуры и имеют отрицательные диэлектрические характеристики. Метаматериал, у которого отрицательна диэлектрическая (ϵ) либо магнитная (μ) проницаемость, принято называть мононегативным. Если отрицательны обе характеристики, то такой метаматериал называется бинегативным.

Метаматериалы нашли свое применение в решении задач антенной техники. Одно из них — это применение в качестве подложек печатных антенн. Благодаря своим свойствам, такие подложки позволяют снизить габаритные размеры антенны, а также увеличить диапазон рабочих частот. Помимо этого, использование метаматериала приводит к сужению ширины диаграммы направленности и увеличению коэффициента усиления.

Метаматериалы способны поглощать электромагнитное излучение на конкретной частоте или же в диапазоне частот. Это делает возможным их применение для улучшения радиотехнических характеристик не только печатных антенн, но и рупорных, которые зачастую используются как измерительные. Достигается это путем нанесения метаматериала на внешние стенки рупорного раскрыва.

Главной особенностью бинегативных метаматериалов является отрицательный коэффициент преломления. На основе таких метаматериалов возможно создание метаповерхности с полосно-пропускающими или полосно-заграждающими свойствами. Применение данных поверхностей возможно в системе «антенная решетка-радиопрозрачное укрытие». Известно, что при росте угла сканирования антенной решетки растет и ошибка пеленга. Однако отрицательный коэффициент преломления, которым обладают бинегативные метаповерхности, позволяет компенсировать эти ошибки.

В работе рассматриваются все вышеописанные возможные применения метаматериалов. Под решение каждой задачи синтезирована отдельная структура. Оценка эффективности использования полученных метаматериалов проведена при помощи электродинамического моделирования в специализированной программе.

Литература

1. **S. Narayan, A. Kesavan.** Handbook of Metamaterial-Derived Frequency Selective Surfaces. — Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2022.
2. **Engheta N., Ziolkowski R.W.** Metamaterials: Physics and Engineering Explorations. — Wiley-IEEE Press, 2006.

Е.Д. Малёв, асп.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ ДЛЯ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

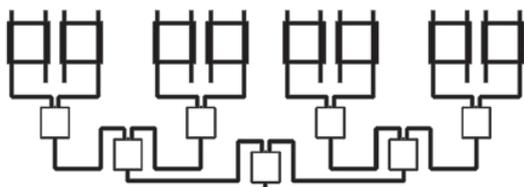


Рис. 1. Схема питания антенной решётки круговой поляризации

В данной работе описывается проектирование схемы питания для микрополосковой антенной решётки круговой поляризации, работающей на частоте 1.6 ГГц. Антенная решётка состоит из 6 горизонтально расположенных элементов, представленных в работе [1][2]. Также требуется, чтобы излучающие элементы решётки запитывались синфазно и деление мощности было равномерным. Для выполнения этого условия в качестве базового элемента схемы питания используются делители Вилкинсона [3], которые соединены каскадно. Этот элемент выбран из-за его высокой развязки и малыми потерями между выходами. Так как антенная решётка должна иметь круговую поляризацию за счет схемы питания, то к каждому выходу делителя мощности необходимо добавить направленный ответвитель [3], так как он позволяет получить разность фаз между своими выходами 90 градусов.

Определившись с используемыми элементами схемы питания, перейдем к ее проектированию. Моделировать схему питания будем с использованием в качестве диэлектрика ФАФ-4Д. Этот материал часто используется для создания СВЧ плат, так как обладает низкими потерями ($\text{tg}\delta=2,3 \times 10^{-4}$). На рисунке 1 представлена спроектированная схема питания антенной решётки.

Литература

1. E.D. Malev, M.S. Mikhailov, A.M. Mikhailov and A.A. Komarov, "Comparison of Multi-resonant Patch Antenna Topologies," 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1–7, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10618520
2. E.D. Malev, M.S. Mikhailov, A.M. Mikhailov and A.A. Komarov, "Comparison of Circular Polarized Patch Antenna Topologies," 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1–8, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10617934.
3. Воскресенский В.Л., Гостюхин В.М., Максимов В.М., Понамарев Л.И. Под редакцией Д.И. Воскресенского. — М.: Изд-во МАИ, 1999. — 528 с.: ил.

*Р.В. Верховина, студент;
рук. С.В. Крутиев, к. ф. - м. н., доц. (ЮФУ, Ростов-на-Дону)*

ВОЛНОВОДНЫЙ ФИЛЬТР НА РЕЗОНАНСНЫХ ДИАФРАГМАХ СО СЛОЖНОЙ АПЕРТУРОЙ

Волноводные устройства играют важную роль в радиотехнике благодаря своим уникальным характеристикам и преимуществам. Использование резонансных диафрагм позволяет более точно настраивать частотные характеристики фильтра, что приводит к более узким полосам пропускания. Это особенно важно в системах, где требуется высокая степень фильтрации. Также добавление диафрагм со сложной апертурой в поперечном сечении позволяет уменьшить габариты и достигнуть более компактных размеров волноводов, что является необходимым аспектом для современных радиосистем.

В работе был проведен синтез и электродинамический анализ одиночной металлической прямоугольной диафрагмы со сложной апертурой. Полученные характеристики позволили синтезировать полосно-пропускающий фильтр третьего порядка с четверть волновыми связями. В амплитудно-частотной характеристике одиночной диафрагмы имеется ноль передачи, что позволяет синтезировать квази-эллиптический фильтр с узкой полосой пропускания, что является большим интересом в области радиотехники сантиметровых и миллиметровых длин волн и может широко использоваться в разработке частотно-селективных устройств СВЧ.

Литература

1. **Крутиев С.В., Земляков В.В., Заргано Г.Ф.** Волноводный полосно-пропускающий фильтр на сложных резонансных диафрагмах // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 12. С. 1231.
2. **Zemlyakov, V., Krutiev, S., Tyaglov, M., and Shevchenko, V.** A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture // International Journal of Circuit Theory and Applications. 2019. No. 47. P. 55–64.
3. **Лебедев И.В.** Техника и приборы СВЧ. Том 1 (1970).

Е.Д. Малёв, асп.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

В данной работе описывается проектирование и сравнение двух микрополосковой антенной решётки круговой поляризации, работающей на частоте 3.2 ГГц. Для более корректного сравнения обе антенные решётки имеют одинаковую конфигурацию 2×2 элементов. Первая антенная решётка представлена на рисунке 1 (а). В качестве излучающего элемента антенной решётки используется патч-антенна «flower», представленная в работе [1]. Вторая антенная решётка представлена на рисунке 1 (б). В качестве излучающего элемента антенной решётки используется патч-антенна «5 angles», представленная в работе [2]. В таблице 1 представлены характеристики двух антенных решёток для их сравнения.

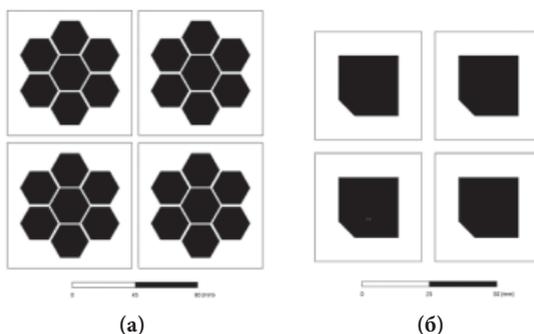


Рис. 1. Антенная решётка 2×2: (а) «flower»; (б) «5 angles»

Таблица 1. Хар-ки антенных решёток

	ШПР, %	КУ, дБ	УБЛ, дБ	Ширина ДН по уровню -3 дБ, град	КЭ
«flower»	9.96	10.13	1.02	24.3	0.6
«5 angles»	3.2	9.18	-3.5	53.6	0.9

Литература

1. E.D. Malev, M.S. Mikhailov, A.M. Mikhailov and A.A. Komarov, “Comparison of Multi-resonant Patch Antenna Topologies,” 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1–7, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10618520
2. E.D. Malev, M.S. Mikhailov, A.M. Mikhailov and A.A. Komarov, “Comparison of Circular Polarized Patch Antenna Topologies,” 2024 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Chengdu, China, 2024, pp. 1–8, doi: 10.1109/PIERS62282.2024.10617934.

Г.Г. Петрунин, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ МОЛНИИ

Изучение поведения переменного электромагнитного поля (ЭМП) в ближней зоне молнии имеет под собой практическое применение для более глубокого анализа систем безопасности летательных аппаратов, в т. ч. пассажирские самолёты, беспилотные летательные аппараты и т. д.

В данной работе рассматриваются вопросы моделирования молнии в четырёх координатах пространства-времени, изучение спектра возникающих ЭМП и их картина. Для начального приближения было предложено взять за эквивалент молнии множество мельчайших диполей Герца, выстроенных друг за другом, образующих цепочку из источников переменного ЭМП. Для анализа такой электродинамической системы в данной работе были использованы численный метод — метод конечных разностей во временной области (метод Йи), в качестве среды моделирования — пакет программ MATLAB.

Первым этапом на пути к цели исследования стало моделирование единичного диполя Герца и его ЭМП в ближней зоне, которое позволило установить, что его ЭМП демонстрирует характерные особенности, такие как резкие пики в амплитуде и специфические временные зависимости, что может быть связано с особенностями формирования молнии.

В ходе моделирования электромагнитного поля в ближней зоне молнии были получены данные о распределении ЭМП, а также их зависимости от различных параметров, таких как расстояние до источника молнии и частота генерируемых волн. Анализ спектра ЭМП показал, что в ближней зоне молнии возникают высокочастотные компоненты, которые могут оказывать значительное влияние на электронные системы летательных аппаратов.

Не исключено, что при более длительном исследовании в данном направлении возможно найти определённые уникальные явления или закономерности, которые предстоит проверить экспериментально и, возможно, в будущем позволят применить их в практической сфере.

Литература

1. **Буянов Ю.И.** Электродинамика ближней зоны короткого диполя // Доклады ТУСУРа, № 4 (34), декабрь 2014.
2. **Баскаков С.И.** Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника». — М.: Высш. шк., 1992.

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

МЕТЕОСТАНЦИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

При загоризонтной радиолокации сантиметрового диапазона параметры зависят от метеорологического состояния тропосферы: температуры, давления и влажности. Эти параметры определяют индекс преломления — величину, определяющую отклонение диэлектрической проницаемости тропосферы от диэлектрической проницаемости вакуума. Существует эмпирическая формула для расчёта индекса преломления через метеорологические параметры тропосферы:

$$N = \frac{77,6P}{T} + \frac{3,732 \times 10^5 e_0 U}{T^2} \quad (1.1)$$

где T — температура в К, P — давление в гПа, U — относительная влажность, e_0 — давление насыщенного водяного пара.

Определение профиля показателя преломления необходимо для проверки наличия волновода испарения при данных условиях, поскольку дальность радиолокационной станции будет ограничена радиогоризонтом при отсутствии волновода испарения.

Цель данной работы — создание метеостанции для определения профиля показателя преломления.

Предлагается размещение метеодатчиков (ВМЕ280) с шагом не более 0,5 метра до высоты примерно 30 метров, которые измеряют параметры раз в минуту. Полученные данные обрабатываются для получения статистики появления волновода испарения в зависимости от погодных условий, от времени суток и т.п.

Работа выполнена в рамках проекта «Применение радиолокации сантиметрового диапазона для задач оперативной океанографии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. **M.S. Mikhailov, E.S. Malevich, and N.O. Strelkov** Tropospheric Ducts Measurement with Using Weather Sensors // 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Rome, Italy, 2019, С. 1–3.

*S. Y. Zan (Henan University of Science and Technology, China),
А.М. Михайлов, студ.;
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., А.А. Меркулов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАТЧ-АНТЕННЫ ДЛЯ ОРТЕЗА

В статье [1] приведены подробные данные о электрических параметрах (относительной диэлектрической проницаемости, тангенсе угла диэлектрических потерь) тканей человека: кожи, мышц, жира, нервов, костей, хрящей и т.д. Также в этой работе проводилось моделирование нагрева тканей при разной интенсивности излучения и делались выводы о необходимом уровне излучения.

Используя данные из работы об ортезе, были получены требования для патч-антенны. В первую очередь накладываются ограничения на размеры антенны из-за конструкции ортеза. Во-вторых, частота работы задана параметрами человеческих тканей.

Целью работы является моделирование патч-антенны, которая обеспечит необходимый уровень излучения заданной частоты. Также целью является моделирование распространения электромагнитной волны от патч-антенны через ткани человека, для подтверждения результатов.

Литература

1. **Tsyganova A.G.** et al. Development of a Heating Orthosis // 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2024. — С. 1–5.
2. **Алексейчик Л.В., Курушин А.А.** Комплексное моделирование в программе CST SUITE. — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021.

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

ЗАГОРИЗОНТНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ПРИ НАЛИЧИИ ВОЛНОВОДА ИСПАРЕНИЯ

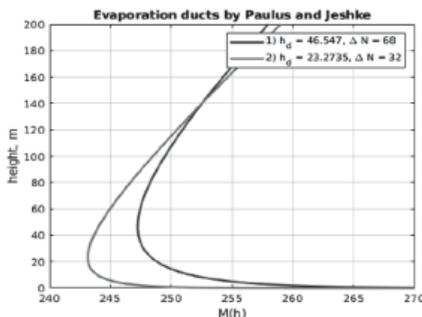


Рис. 1. Индекс показателя преломления по модели Паулуса-Ешке

температуры в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения.

При наличии волновода испарения дальность работы радиолокационной станции увеличивается в разы и может достигать нескольких сотен километров. Профиль показателя преломления (по модели Паулуса-Ешке) при волноводе испарения изображён на рисунке 1.

Работа выполнена в рамках проекта «Применение радиолокации сантиметрового диапазона для задач оперативной океанографии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. Михайлов М.С. Загоризонтное распространение радиоволн в тропосферных волноводах / Михайлов М.С., Волкова А.А., Бородко Е.А., Кожевников К.Ю. // II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» — «Муром 2018».

Секция 5

РАДИОЛОКАЦИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Radar and Remote Sensing

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

Секретарь секции: Юмашев Александр Михайлович

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

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МЕТОДОМ ИНВЕРСНОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ С КОРРЕКЦИЕЙ БАЗИСА

В системах передачи данных возникает необходимость восстановления частотной характеристики канала передачи данных. В работе рассматривается подход к восстановлению частотной характеристики канала передачи данных с использованием инверсной фильтрации с коррекцией базиса в условиях неопределённости. При этом спектр входного сигнала может содержать нули, что приводит к неопределённости типа «деление на ноль».

В работе предложен метод инверсной фильтрации с коррекцией базиса, позволяющий устранять неопределённость типа «деление на ноль» при исследовании частотной характеристики канала передачи данных.

Частотная характеристика инверсного фильтра находится как обратная матрица для согласованного фильтра. После коррекции каждый столбец обратной матрицы представляет собой частотную характеристику нестационарного инверсного фильтра на каждом из этапов фильтрации. Показано, что частотная характеристика нестационарного инверсного фильтра на первых $K_{кр}$ этапах фильтрации будет иметь ненулевые компоненты только на тех позициях, на которых они равны нулю в спектре сигнала, что объясняется способом нахождения обратной матрицы.

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. — 2022. № 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.12.6>
2. Хафизов Р.Г., Салихова Л.М., Мертвищев А.С. Нестационарный инверсный фильтр. // Журнал радиоэлектроники. — 2024. — № 9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.9.7>

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

СИНТЕЗ ИНВЕРСНОГО ФИЛЬТРА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТИПА «ДЕЛЕНИЯ НА НОЛЬ»

Инверсная фильтрация — это метод обработки сигналов, который позволяет сжимать даже простые сигналы во временной области. Он находит применение в различных областях, таких как радиолокация, гидролокация, медицина и другие.

Проблема неопределённости типа «деления на ноль» возникает при использовании инверсного фильтра для сигналов с нулевыми компонентами спектра. В этом случае происходит усиление спектральных составляющих шума и применение инверсного фильтра становится невозможным.

Для решения этой проблемы предлагается использовать инверсный фильтр с коррекцией. Этот метод позволяет избежать деления на ноль и получить более точный результат.

Процесс коррекции представляет собой добавление на каждом этапе фильтрации компоненты β_k , $k=1,2,\dots,k_{кор}$, где $k_{кор}$ — количество корректируемых компонент. В результате матрица импульсной характеристики, составленная для СФ, примет вид:

$$\mathbf{H}_{сф,k} = \begin{bmatrix} s(N-1) & s(0) & \dots & s(N-3) & s(N-2) + \beta_1 \\ s(N-2) & s(N-1) & \dots & s(N-4) + \beta_2 & s(N-3) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s(0) & s(1) & \dots & s(N-2) & s(N-1) \end{bmatrix}.$$

ИХ инверсного фильтра (ИФ) находится как обратная к матрице $\mathbf{H}_{сф,k}$, т.е. $\mathbf{H}_{иф,k} = \mathbf{H}_{сф,k}^{-1}$.

Полученные результаты моделирования подтверждают эффективность предложенного метода синтеза инверсного фильтра с коррекцией в условиях неопределённости типа «деления на ноль». Они демонстрируют улучшение коэффициента шума фильтра и повышение точности разрешения по дальности.

Литература

1. Хафизов Р.Г., Салихова Л.М., Мертвищев А.С. Нестационарный инверсный-фильтр. // Журнал радиоэлектроники. — 2024. — №. 9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.9.7>
2. Григорьевых Е.А., Хафизов Р.Г., Мелешко А.В. Расчет характеристик обнаружения сигналов для приемника на базе инверсного фильтра в условиях неопределённости // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2023, № 4. С. 51–58.

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

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ HACKRF ONE

Использование HackRF One становится особенно актуальным в условиях роста спроса на доступные инструменты для экспериментов с цифровыми стандартами передачи данных, такими как DVB-T и DVB-T2, что позволяет упростить разработку, тестирование и обучение в области радиотехники.

Одним из ключевых аспектов исследования является возможность применения HackRF One для моделирования и тестирования систем цифрового телевидения без необходимости использования дорогостоящих специализированных приемников и передатчиков. Было изучено, как данное устройство в сочетании с программным обеспечением GNU Radio позволяет генерировать сигналы в стандартах цифрового телевидения, анализировать их спектральные характеристики и выявлять ошибки [1].

Были проведены исследования, направленные на настройку и оптимизацию параметров передачи цифрового сигнала в стандартах DVB-T и DVB-T2. Также разработана методика тестирования устойчивости сигнала в различных условиях, включая анализ помехоустойчивости и пропускной способности канала. Полученные данные позволяют глубже понять возможности адаптации стандартов цифрового телевидения к современным требованиям [2].

Перспективы использования полученных результатов включают их применение в образовательных и научно-исследовательских целях, а также в разработке систем профессионального телевидения. Компактность и гибкость HackRF One делают его удобным инструментом для обучения студентов, изучающих основы цифровой связи, и для инженеров, занимающихся разработкой оборудования и систем цифрового телевидения. Кроме того, предложенные подходы могут быть использованы в области радиообнаружения, мониторинга радиочастотного спектра и даже в разработке новых стандартов передачи данных.

Литература

1. **Одинец А.И., Бурдин А.Н.** Основы цифрового телевидения стандарта DVB-T // Учебное пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. — 76 с.
2. **Мамчев Г.В.** Цифровое телевизионное вещание // Учебное пособие. 2-е изд. — Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2014. — 228 с.

Секция 6

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Optoelectronic instrumentation

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

Секретарь секции: Шматко Екатерина Викторовна

*А.М. Балашова, студ., Д.В. Еремин, асп.;
рук. О.В. Печинская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МАКЕТ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

В современных научных исследованиях и промышленности существует потребность в точном определении температуры исследуемого объекта: в разработке и эксплуатации авиационных двигателей [1], дефектоскопии, контроля качества оборудования [2]. В ряде практических случаев недопустимо внесение возмущений, которые возникают в ходе использования контактных методов. В связи с этим необходимо разработать новые методы для измерения температуры. Наиболее перспективными способами являются бесконтактные оптические методы измерения.

В данной работе рассмотрена задача по бесконтактному определению температуры газового потока по излучению его компонентов. Для выполнения данной задачи был выбран метод измерения температуры по отношению спектральных линий одного и того же элемента. Основным компонентом в потоке углеводородного пламени является водяной пар. Именно его группы линий спектра удобно регистрировать и выделять с помощью акустооптического фильтра.

В работе проведена разработка макета спектроделителя на основе акустооптического фильтра ближнего ИК-диапазона, позволяющего измерять температуру пламени по спектру излучения паров воды и находится за пределами излучательной способности сажи, что позволит снизить влияние излучения частиц на результаты измерений. Данная установка, собранная авторами, позволяет проводить регистрацию сигнала на многих длинах волн и измерять температуру без предварительной информации о спектральном коэффициенте эмиссии. Регистрация излучения проводилась на основе метода мультиспектральной пирометрии.

В результате исследования были получены данные о зависимости напряжения фотосигнала от длины волны излучения. Также автором были определены диапазон измерений и экспериментально определено оптимальное расположение спектральных каналов.

Литература

1. **Сенюев И.В.** Развитие методов пирометрии применительно к аэродинамическому эксперименту: автореф. дис... канд. тех. наук: 05.07.01; ЦАГИ. Жуковский, 2020. 26 с.
2. **Быков А.А.** Применение акустооптической видеоспектрометрии для бесконтактного определения пространственного распределения температуры: дис... канд. тех. наук: 05.11.13; НИУ МЭИ. Москва, 2021. 111 с.

М.О. Медведев, студ.; А.Ю. Поройков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ОЧКОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ

Современные технологии виртуальной и дополненной реальности активно применяются в науке и технике — например, для ремонта и сборки аппаратуры. Использование таких технологий позволяет упростить доступ к документации и улучшить качество работы за счет визуализации данных через очки дополненной реальности. Функционал таких очков — открытие каких-либо документов, преобразование голоса в текст для заметок, голосовой поиск в браузере. К сожалению, в России сфера устройств дополненной реальности мало развита, поэтому задача разработки бюджетного устройства для таких работ, как ремонт и сборка разнообразных устройств, с максимальной локализацией производства в России, является актуальной, и именно решению этой задачи и посвящен предлагаемый доклад.

Одним из ключевых элементов очков дополненной реальности является экран. Несмотря на появление технологии создания OLED микродисплеев в России [1], эти разработки пока не доступны на потребительском рынке, поэтому в проекте предполагается использовать более доступный аналог с последующей заменой на отечественный дисплей. Вторым важным компонентом является вычислительный блок, для которого выбрано готовое решение в виде одноплатного компьютера на перспективной архитектуре RISC-V. Отечественные микроконтроллеры на этой архитектуре пока недостаточно мощные для запуска ОС, поэтому в проекте планируется использование более производительного микропроцессора RISC-V с последующим переходом на российские аналоги.

Планируемый функционал устройства: жестовое взаимодействие с пользователем, поиск объектов перед пользователем по изображению с камеры и отображение найденных объектов пользователю, открытие и отображение на дисплей PDF документов.

В докладе будут представлены результаты разработки автором прототипа устройства и тестовое приложение, демонстрирующее возможности очков.

Литература

1. Ростех разработал первые российские OLED-микродисплеи. URL: <https://rostec.ru/media/news/rostekh-razrabotal-pervye-rossiyskie-oled-mikrodisplei/?ysclid=m3tx5quxm981287389#start>

А.А. Наумов, Д.М. Платонов, студ.;
В.А. Паршин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН ИЗЛУЧЕНИЯ, РАССЕЯННОГО НА МАЗКЕ КРОВИ

Данная работа посвящена вопросам получения и корректной обработки изображений дифракционных картин в рамках создания макета установки для дифрактометрии параметров ансамблей эритроцитов. Научный задел по данной тематике формируется последние 10 лет в рамках исследований, которые проводятся сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова. Теоретическое описание методик получения и анализа дифракционных картин на мазке крови изложено в [1].

Актуальность таких работ обусловлена необходимостью создания недорогостоящих отечественных оптико-электронных измерительных систем анализа параметров и характеристик крови, которые, в то же время, просты в своей реализации. Один из вариантов конструкции такой системы подразумевает использование относительно недорогой фотокамеры без объектива для регистрации дифракционной картины излучения, пропущенного через влажный мазок крови. С помощью дифракционной картины можно измерить распределение эритроцитов по размерам и их способность к деформации, что влияет на эффективность кислородного обмена и движение в сосудах, также данное свойство является индикатором нарушений в работе организма человека.

В рамках выполнения настоящей работы был создан макет оптико-электронного измерительного комплекса дифрактометрии параметров ансамблей эритроцитов, проведена калибровка камеры, получены дифракционные картины на влажном мазке крови, которые в дальнейшем были обработаны согласно методике, изложенной в [2].

Литература

1. **Никитин С.Ю., Устинов В.Д., Шишкин С.Д.** Алгоритмы определения параметров дифракционной картины в лазерной эктацитометрии эритроцитов // Квантовая электроника. 2021. Т. 51. №. 4. С. 353.
2. **Никитин С.Ю. и др.** О возможности измерения асимметрии распределения эритроцитов по размерам методом лазерной дифрактометрии мазка крови // Квантовая электроника. 2022. Т. 52. №. 7. С. 664–670.

А.А. Бордукова, студ.; рук. А.С. Акентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕТРОРЕФЛЕКТОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛУННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ

Результаты измерений лунной дальнометрии широко применяются при решении задач практической геодезии. Величина погрешности измерительных данных зависит как от бортового сегмента (оптических уголкового отражателей) так и наземного сегмента (квантово-оптической станции). К недостаткам существующей лунной ретрорефлекторной системы можно отнести ошибку цели. Ошибка цели обусловлена одновременным отражением лазерного импульса от нескольких ретрорефлекторов [1]. Таким образом, отраженный оптический сигнал образуется в результате сложения сигналов от нескольких уголкового отражателей, находящихся на различном расстоянии от станции. Величина ошибки цели зависит от числа уголкового отражателей и размеров панели, а также угла падения луча на панель. Данная проблема может быть решена, если использовать полый уголкового отражатель.

Актуальность работы подтверждается проведенными на эту тему исследованиями [2, 3, 4]. Применение полых уголкового отражателей позволит решать задачи определения эфемерид Луны на новом уровне точности, в частности измерять расстояние до Луны с миллиметровой точностью, что важно для решения навигационных задач в рамках системы ГЛОНАСС. В рамках данной работы предлагается решение задачи по отработке конструкторских и технологических принципов построения и созданию образца ретрорефлекторной системы на основе полых уголкового отражателей, предназначенной для лунной лазерной дальнометрии.

По результатам проведенной работе в докладе будут представлены технические характеристики лунной ретрорефлекторной системы, а также возможная модель полого уголкового отражателя.

Литература

1. **Andreas Märki.** A critical review of the lunar laser ranging // American journal of astronomy and astrophysics. 2020. № 8. P. 39–44.
2. **James G. Williams, Luca Porcelli.** Lunar laser ranging retroreflectors: velocity aberration and diffraction pattern // The planetary science journal. 2023. № 4. P. 1–22.
3. **John J. Degnan.** A tutorial on retroreflectors and arrays used in satellite and lunar laser ranging // Photonics. 2023. № 10. P. 1–17.
4. **Yun He.** Development of a 170-mm hollow corner cube retroreflector for the future lunar laser ranging // Chinese physics B. 2018. № 27. P. 1–5.

И.Д. Гуревич, студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ ФРТ И ОПФ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИЗОФОТОМЕТРИИ

Развитие направлений, в которых используются оптические системы, напрямую зависит от качества получаемых изделий, ведь для решения современных комплексных задач требуются оптические системы высокого качества, подходящие по многочисленным критериям. В связи с этим, закономерно, что с повышением требований к качеству используемых оптических систем, всё острее становится потребность в современных способах и методах контроля качества [1]. Наиболее передовым вектором усовершенствования методов контроля является модернизация классических способов с использованием компьютерных технологий. Одним из примеров такой модернизации является метод компьютерной изофотометрии [2].

В ходе работы была модернизирована оптическая скамья ОСК-2 для реализации на её базе измерений методом компьютерной изофотометрии. Также, был создан алгоритм для обработки полученных изофотограмм, фильтрации и получения ФРТ и ОПФ исследуемых объективов. Были произведены измерения в монохроматическом и интегральном свете для нескольких объективов, произведён анализ полученных ФРТ и ОПФ.

В результате исследования были получены изображения ФРТ и ОПФ для трёх различных фотографических объективов. По полученным зависимостям были сделаны выводы относительно качества получаемого изображения по нескольким критериям оценки. Были произведены сравнения результатов, полученных для монохроматического и интегрального освещения.

Литература

1. **Точилина Т.В., Кирилловский В.К.** Оптические измерения. Часть 4. Оценка качества оптического изображения и измерение его характеристик. СПб.: Университет ИТМО, 2018. 86 с.
2. **Ле Зуи Туан** Разработка и исследование алгоритмического и программного обеспечения для решения задач оценки качества изображения прецизионных оптических систем: дис ... канд. тех. наук: 05.11.07; ИТМО. — Санкт-Петербург, 2008. — 140 с.

А.Е. Макаренков, студ.;
рук. П.Г. Зверев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ФТОРИДОВ МЕТОДАМИ АБСОРБЦИОННОЙ И ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Фторидные материалы являются основой многих оптических и лазерных приборов, работающих в широком спектральном интервале длин волн. Это обусловлено широкой областью прозрачности фторидов от ближнего ультрафиолетового до далекого инфракрасного диапазона. Большой интерес представляет создание твердотельных лазеров видимого спектрального диапазона. Активные элементы из кристаллов фторидов, активированных ионами Tb^{3+} , позволяют получать лазерное излучение с длинами волн в диапазоне 485–680 нм [1].

В настоящей работе исследован состав образцов кристаллов многокомпонентных твердых растворов CaF_2 - SrF_2 - TbF_3 - YbF_3 различного состава. Кристаллы были выращены методом Бриджмана в многоканальных графитовых тиглях. В процессе роста летучие компоненты исходной шихты могут испаряться, поэтому после роста необходимо контролировать состав полученных образцов. Для определения состава всех компонентов в образце была использована энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Для определения малых концентрации примесей Tb^{3+} и Yb^{3+} использовался метод абсорбционной спектроскопии. Исходный состав шифты для роста четырех образцов кристаллов был задан производителем.

Таблица 1. Атомные и заданные проценты

	Tb, % (заданные)	Yb, % (заданные)	Tb, % (микроскоп)	Yb, % (микроскоп)
CaSr(Tb+Yb)	2	2	1,637	1,732
CaSr(Yb)	0	2	0	2,139
CaSr(Tb)	2	0	1,759	0
CaSr(Tb+Yb+Mg)	5	2	6,121	2,657

Из полученных данных, в таблице 1, был рассчитан коэффициент распределения примесей в кристаллах, равный для тербия 0,970, а для иттербия 1,088. Полученные данные были подтверждены методом абсорбционной спектроскопии.

Литература

1. **Xu B. et al.** Research progress of direct generation lasers in visible spectral range // J. Xiamen Univ.-Nat. Sci. 2021. Vol. 60. P. 13.

*В.В. Неткачев, студ.; Ш.Ш. Усманова, асп.;
рук. Н.М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТРАССЕРНЫХ МЕТОДОВ

В современных научных исследованиях значимость точного измерения потоков жидкости и газа неуклонно увеличивается. Одним из перспективных методов анализа потоков является анемометрия по изображениям частиц (АИЧ), которая позволяет получать данные о скорости и направлении движения частиц [1]. Применение вейвлетов преобразований в этом контексте открывает новые возможности для повышения точности результатов.

Смысл применения вейвлетов преобразований в трассерных методах заключается в их способности эффективно анализировать и обрабатывать многомасштабные сигналы. Вейвлеты позволяют определять характеристики изображений на разных уровнях детализации [2], что особенно полезно при обработке изображений АИЧ, где необходимо различать мельчайшие детали структуры потока. Вейвлет-фильтрация изображений минимизирует наличие шумов и артефактов, что способствует более точному определению частиц-трассеров. Таким образом, интеграция вейвлет-преобразований в процесс обработки изображений открывает новые возможности для повышения эффективности трассерных методов.

В результате работы была разработана программа, моделирующая экспериментальные изображения АИЧ с различными видами шумов. Эти изображения в сочетании с их вейвлетовыми преобразованиями были обработаны с использованием сверточной нейросети CNN (Convolutional Neural Network). Такой подход значительно улучшил качество входных изображений и повысил точность их последующего анализа. Экспериментальные результаты показывают, что комбинация вейвлетов преобразований и нейросетевых технологий обеспечивает более надежные результаты по сравнению с традиционными методами обработки. В дальнейшем планируется расширение функционала разработанной программы, что позволит улучшить ее возможности и адаптировать к более широкому спектру задач в области анемометрии.

Литература

1. **Von Hohenhau A.B.** Review and comparison of flow measurement techniques // Scientific bulletin. Series C: fascicle mechanics, tribology, machine manufacturing technology. 2022. Vol. 36. P. 27–31.
2. **Abdulazeez A.M., Zeebaree D.Q., Zebari D.A.** The applications of discrete wavelet transform in image processing: a review // Journal of soft computing and data mining. 2020. Vol. 1. №. 2. P. 31–42.

А.И. Мишин, студ.; рук. Д.Н. Козлов, к.ф.-м.н. (ИОФ РАН, Москва)

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОСКОПИИ КОГЕРЕНТНОГО АНТИСТОКСОВА РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Лазерная спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) широко используется для „мгновенной“ локальной и невозмущающей термометрии высокотемпературных газовых сред и реагирующих потоков [1, 2]. КАРС — это процесс нелинейно-оптического преобразования в среде волн интенсивной лазерной накачки с частотами ν_p и ν_s в когерентное излучение на частоте $\nu_{as} = 2\nu_p - \nu_s$. Эффективность процесса возрастает на порядки, если разность частот ($\nu_p - \nu_s$) совпадает с частотой комбинационно-активного перехода молекул среды. Интенсивности линий в спектрах КАРС при колебательно-вращательных переходах молекул отражают заселенности уровней, определяемые температурой газа. Температуру находят путем аппроксимации экспериментальных спектров расчетными.

В работе с применением КАРС-спектрометра на основе наносекундных Nd:YAG лазера и лазера на красителе с широким спектром излучения зарегистрированы КАРС-спектры молекул N_2 в стационарных условиях специализированной печи с воздухом, нагреваемым до известной температуры (вплоть до 1900 К), которая измерялась калиброванной термопарой. С использованием спектров рассчитаны температуры газа и изучено влияния аппаратной функции спектрометра, задаваемой при расчете, на качество аппроксимации этих спектров с целью оценки систематической погрешности определения температуры и выяснения возможности ее уменьшения. Актуальность исследования обусловлена возрастанием требований к точности измерений высоких температур при решении важных прикладных задач энергетики и двигателестроения. Результаты работы предполагается использовать для КАРС-термометрии пламен на измерительных стендах Центрального института авиационного моторостроения.

Литература

1. **Eckbreth A.C.** Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species. Combustion Science and Technology Book Series. v. 3. Amsterdam: Gordon and Breach, 1996. P. 596.
2. **Ehn A., Zhu J., Li X., Kiefer J.** Advanced laser-based techniques for gas-phase diagnostics in combustion and aerospace engineering // Appl. Spectrosc. 2017. V. 71. №5. P. 1.

О.В. Королькова, студ.; рук. И.Н. Павлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НПВО

Метод НПВО не только предоставляет уникальные возможности для визуализации, но и является мощным инструментом для измерения показателя преломления различных материалов, в том числе и биологических.

Актуальность получения распределения показателя преломления методом НПВО подтверждается многочисленными проведенными на эту тему исследованиями (например, [1, 2]). Актуальным применением метода НПВО является разработка датчиков дождя и тумана на его основе.

В данной работе явление НПВО применяется для визуализации распределения показателя преломления в процессе реакции замены растворителя с использованием канифоли. Целесообразность использования канифоли подтверждается исследованием [3].

В результате эксперимента были получены графики распределения интенсивности отраженного излучения, которые затем были пересчитаны в графики зависимости коэффициента отражения, а с помощью формул Френеля — в графики зависимости показателя преломления от координаты.

Показатель преломления среды зависит от концентрации канифоли и меняется со временем в процессе протекания реакции. Следовательно, данный метод позволяет визуализировать не просто распределение показателя преломления, а динамику этого распределения в процессе реакции, а также позволяет определять концентрацию канифоли в каждой точке с помощью пересчета из показателя преломления в концентрацию.

Работа выполнена в рамках проекта «Оптические датчики дождя и тумана» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. **Chang J.-P., Tsai C.-M., Weng J.-H., Han P.** Refractive index and dispersion measurement principle with polarization change in total internal reflection // *Photonics*. 2024. Vol. 11, No. 505, P. 1–9.
2. **Wang J., Smith A., Johnson T. et al.** Method for the refractive index of various tissues based on fluorescence microscopy // *Optics Continuum*. 2023. Vol. 2, No. 7, P. 1638–1648.
3. **Lee, C.-M., Lim, S., Kim, G.-Y., et al.** Rosin microparticles as drug carriers: Influence of various solvents on the formation of particles and sustained-release of indomethacin // *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2004. — Vol. 9, No. 6, P. 476–481.

А.Д. Богачев, асп.;
рук. О.В. Печинская, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИНТЕРФЕРОГРАММ

Интерферометрические исследования являются ключевым инструментом в области науки и техники, обеспечивая уникальные возможности для измерения и анализа различных объектов и явлений. Существует множество различных интерферометрических методов и способов обработки интерферограмм. Одним из перспективных направлений является автоматизация в задачах обработки интерферограмм [1]. Она позволяет получить лучшие результаты по сравнению со стандартными методами. Уменьшается влияние шумов на интерферограмме, повышается точность восстановления фазы и волнового фронта, а, соответственно, и профиля исследуемой поверхности.

Целью данной работы является разработка на языке программирования Python алгоритма машинного обучения для обработки синтезированных интерферограмм. Для реализации и обучения такого алгоритма существует необходимость получения набора данных с известными параметрами [2]. Для получения набора разнообразных данных, были смоделированы несколько интерферометров: интерферометр Маха-Цендера, интерферометр Тваймана-Грина, интерферометр Майкельсона в двух вариациях. Затем, с помощью скрипта, генерировались интерферограммы с различными входными параметрами. Одна часть синтезированных интерферограмм составила базу данных для обучения нейронной сети, а вторая была применена для валидации обученной нейронной сети.

В докладе будет представлена реализация, скрипта для создания базы данных для алгоритма машинного обучения, а также разработанный алгоритм машинного обучения. По результатам данного исследования можно сделать вывод о корректности работы обученной нейронной сети применительно к синтезированным интерферограммам.

Литература

1. **Гужов В.И., Ильиных С.П.** Компьютерная интерферометрия. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
2. **Wolf A.** The Machine Learning Simplified: A Gentle Introduction to Supervised Learning, Leanpub, 2022. 111 p.

Г.И. Русаков, студ.;
рук. М.В. Сапронов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗЛУЧЕНИЯ, РАССЕЯННОГО ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМОЙ ЧАСТИЦ

Наноразмерные частицы получили широкое распространение в различных сферах деятельности человека в последние десятилетия. Одной из важных характеристик наночастиц является их функция распределения по размерам (ФРР). Вместе с этим стала актуальной задача развития методов диагностики и контроля их параметров, в том числе лазерных методов.

Данная работа посвящена проверке возможности использования углового распределения поляризационного контраста (УРПК) лазерного излучения, рассеянного на полидисперсном ансамбле наночастиц, в качестве информативной измеряемой характеристики для определения ФРР. Для этого был разработан алгоритм и создана программа моделирования УРПК рассеянного лазерного излучения.

В основе алгоритма моделирования УРПК лежит теория Г. Ми [1], который получил комплексные амплитудные функции рассеяния плоской электромагнитной волны на сферической диэлектрической или слабо поглощающей частице для перпендикулярной и параллельной плоскости рассеяния составляющих комплексных амплитуд поля в виде бесконечных сумм рядов (1, 2) [1, 2]

$$S_{\perp} = S_{\perp}(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} \cdot (a_n \pi_n + b_n \tau_n), \quad (1)$$

$$S_{\parallel} = S_{\parallel}(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} \cdot (b_n \pi_n + a_n \tau_n). \quad (2)$$

Для построения УРПК в каждом угловом направлении рассчитывается вектор параметров Стокса, а затем на их основе рассчитывается значение поляризационного контраста K (3)

$$K = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}}. \quad (3)$$

С помощью созданной программы было исследовано влияние ФРР наночастиц на характер УРПК рассеянного лазерного излучения.

Литература

1. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде М.: ГИТТЛ. 1951.
2. Сапронов М.В., Скорнякова Н.М. Компьютерная визуализация индикатрис рассеяния Рэлея в динамике // Научная визуализация. 2017. Т. 9. № 3.

А.А. Будников, асп.; рук. В.А. Паршин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ ЭРИТРОЦИТОВ

Распределение эритроцитов по размерам является важной характеристикой состояния крови. При сердечно-сосудистых и ряде других заболеваний наблюдается увеличение ширины распределения эритроцитов по объему [1], что можно использовать в диагностике. Оценку параметров распределения можно произвести методами визуальной или компьютерной микроскопии, проточной цитометрии, а также с помощью счётчика Коултера. Однако эти методы либо очень трудоемки, либо дороги в реализации. Таким образом, актуальность исследований обусловлена важностью создания компактных недорогих измерительных приборов для анализа характеристик состояния крови, доступных для использования потребителем.

Метод лазерной дифрактометрии основан на анализе дифракционных картин, полученных путём рассеяния лазерного излучения на эритроцитах. Группой исследователей из «Международного лазерного центра» МГУ была предложена аналитическая модель рассеяния лазерного пучка на неоднородном ансамбле эллиптических дисков, моделирующих эритроциты. Модель позволила определить связь видности дифракционных изображений с дисперсией размеров частиц крови [2].

Работа посвящена процессу создания и оптимизации установки для реализации метода лазерной дифрактометрии на ансамбле эритроцитов. В рамках данной работы был создан макет установки для регистрации дифракционных картин, проведена калибровка фотоприемного устройства, получены и обработаны дифракционные изображения на мазке крови.

Литература

1. **Patel K.V. et al.** Red blood cell distribution width and the risk of death in middle-aged and older adults // Archives of internal medicine. 2009. Т. 169. №. 5. С. 515–523.
2. **Никитин С.Ю. и др.** Связь видности дифракционной картины с дисперсией размеров частиц в эктацитометре // Квантовая электроника. 2011. Т. 41. №. 9. С. 843–846.

С.К. Балашова, студ.; рук. А.С. Акентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ БОРТОВЫХ И НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Оптическая лазерная связь является передовым методом передачи информации на высоких скоростях, используется как дополнение и замена традиционных радиочастотных каналов. Широкое распространение этой технологии объясняется её преимуществами, такими как диапазон длин волн, расстояние, скорость передачи сигнала и возможность передачи видео, аудио и текстовой информации с помощью лазерного излучения посредством волоконных оптических линий и межспутниковой лазерной связи. Лазеры, пригодные для генерации излучения с пикосекундной длительностью импульсов, являются ключевыми элементами современных систем передачи данных [1].

В работе рассмотрены ключевые параметры источников лазерного излучения с пикосекундной длительностью импульса, а также принципы их работы, недавно достигнутые успехи и текущие задачи. Проанализированы различные типы лазеров, подходящих для интеграции в системы передачи информации, в том числе бортовые передатчики, их характеристики и применение в реальных условиях. Особое внимание уделено проблемам миниатюризации и надежности таких систем, что имеет первостепенное значение для использования устройств в космической отрасли.

В результате работы определены оптимальные модель и характеристики лазера для бортовых и наземных систем передачи информации, основываясь на вышеперечисленных параметрах источников лазера излучения.

Литература

1. **Смайлов Н.К., Абдыкадыров А.А., Керей А.Ж., Жадигер Т.А.** Моделирование оптической связи в свободном пространстве // *Universonum: технические науки*. 2022. № 4-4 (97). 14–21 с.

К.С. Александров, студ.;
рук. А.С. Акентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

В современных твердотельных лазерах одним из наиболее предпочтительных способов накачки активной среды является накачка полупроводниковыми лазерами. Это связано с большим разнообразием типов лазерных диодов и их выходных характеристик [1].

Для получения лучшей эффективности накачки зачастую используются линейки лазерных диодов с волоконным выходом. Пучок на выходе из таких устройств формируется с помощью волоконных коллиматоров и фокусирующих линз. Основными параметрами, требующими корректировки, являются форма, размер на определенном расстоянии и расходимость пучка [2].

Целью данной работы является расчет и анализ оптимальных параметров оптической системы для улучшения параметров пучка накачки пикосекундного лазерного диода.

В работе представлены результаты расчетов, анализа, а также зависимости формы, размера и расходимости пучка от параметров оптической системы. Полученные данные можно использовать в дальнейшем для выбора оптической системы формирования пучка.

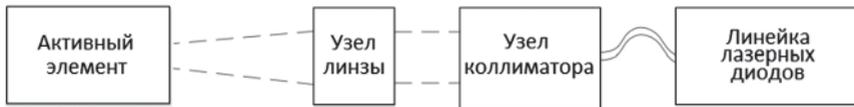


Рис. 1. Схема установки

Литература

1. **Звелто О.** Принципы лазеров [пер. с англ. ДН Козлова, СБ Созинова и КГ Адамович под науч. ред. ТА Шмаонова] / Звелто О. 4-е изд // СПб., М., Краснодар: Изд-во «Лань». 2008.
2. **Жуков А.Е.** Основы физики и технологии полупроводниковых лазеров СПб / Жуков А.Е. Изд-во Академ. ун-та. 2016.

М.И. Жарикова, студ.; рук. А.С. Акентьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТОКСА ПОЛЯРИМЕТРА ДЛЯ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Поляризованный свет применяется для изучения различных свойств объектов, например, растворов органических веществ, диэлектрических плёнок или прозрачных моделей. В таком случае свет с заранее известным состоянием поляризации направляется на объект, и изменения его поляризационных параметров позволяют оценить и проанализировать характеристики [1]. Одним из устройств диагностики состояния поляризации является Стокс-поляриметр. Это прибор, измеряющий параметры Стокса оптической системы, по которым известным образом рассчитываются поляризационные параметры: степень поляризации, азимут и угол эллиптичности.

В рамках данной работы исследован Стокс-поляриметр, предназначенный для измерения состояния поляризации света в оптическом тракте квантово-оптической станции для измерения дальности до космического аппарата [2]. Актуальность данного исследования заключается в том, что состояние поляризации света влияет на эффективность работы квантово-оптической станции и его необходимо контролировать [3]. Специфика данного поляриметра определяется тем, что лазерное излучение является импульсным и имеет высокую мощность.

Проведен анализ программного обеспечения поляриметра и сопоставление результатов расчета с тестовыми значениями состояния поляризации света, что позволило доработать метод расчета и определить погрешность измерений.

Литература

1. **Ищенко Е.Ф., Соколов А.Л.** Поляризационная оптика. 3-е изд., испр. доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. 576 с.
2. **Акентьев А.С., Пасынков В.В., Соколов А.Л.** Введение в космическую лазерную дальнометрию. М.: Издательство МЭИ, 2023. 76 с.
3. **Кукушкин Д.Е., Бычков В.Д., Сазоненко Д.А., Бахолдин А.В., Васильев В.Н.** Оценка эффективности стокс-поляриметра с различными анализаторами поляризации // *Астрофизический бюллетень*. 2019. Т. 74. № 3. С. 336–344.

*Д.А. Переседова, студ.;
рук. Е.И. Липатов, к.ф.-м.н., н.с. (ИСЭ СО РАН, г. Томск)*

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

В современном мире алмаз ассоциируется с материалом, который используется либо в ювелирной, либо в строительной промышленности. В последние годы ведутся активные исследования синтетических алмазов. Алмаз обладает рядом уникальных свойств, таких как высокая радиационная стойкость, энергия образования вакансий — 80 эВ, и высокая теплопроводность (900–2300 Вт/ м*К). Кроме этого, создаются различные устройства на их основе (дозиметры, мониторы синхротронного пучка, теплоотводы, выводные окна для ТГц приборов и др.).

В данной работе представлены результаты исследования спектров катодолюминесценции (КЛ) алмазного образца, синтезированного в условиях высокой температуры и высокого давления (ВДВТ). При анализе экспериментальных данных была обнаружена нехарактерная температурная зависимость ЗН центра, изображенная на рис. 1.

Полученные данные об алмазном образце, а также проведенный литературный поиск, говорят о том, что представленная температурная зависимость связана с термостимулированной люминесценцией.

При выполнении работы мной были получены спектры КЛ алмаза в широком интервале температур, проанализированы температурные зависимости, проведен литературный анализ по теме работы.

Подобные алмазные образцы будут востребованы при создании различных высокотехнологичных устройств, таких как дозиметры, визуализаторы и др.

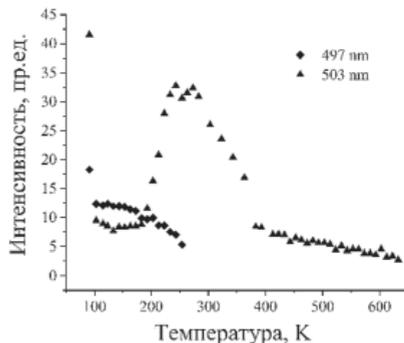


Рис. 1. Температурная зависимость интенсивности БФЛ на 503 нм и линии на 497 нм

*Д.А. Гордеева, И.А. Жучков, студенты;
рук. В.В. Егоров (МАИ, Москва)*

РАЗРАБОТКА ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА, СЛУЖАЩЕГО ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

В современном мире существуют следующие технологии ближнего действия передачи информации: Bluetooth, NFC, а также применяются интерфейсы, использующие ИК-излучение. Для бесконтактной оплаты в настоящий момент используется NFC. Активный тип передачи привычен для смартфонов со встроенной соответствующей функцией, а пассивный тип — для банковских карт. Основные его плюсы это скорость установления соединения, составляющая 0,1 мс [1], и возможность записывать информацию на чип. Минус NFC заключается в его незащищённости перед целенаправленным похищением данных. Так как электромагнитное излучение способно проникать через ткань, кожу и прочие диэлектрические материалы, то вызвать реакцию пассивного NFC-чипа можно даже без желания держателя карты. Для этого достаточно поднести активное устройство на расстояние менее 10 см. Подобный недостаток можно устранить, если использовать для передачи данных вместо радиодиапазона оптический.

В ходе исследования была разработана система из двух устройств: терминала и пассивного приёмо-передающего устройства. Принцип действия терминала заключается в следующем: во включённом состоянии он при помощи ИК светодиода излучает запросный сигнал в свободное пространство и при наличии ответной части запускает процедуру обмена данными. При этом сигнал терминала также выступает в роли канала передачи энергии.

Ответная часть, предназначенная для установки на пластиковую карту, представляет собой переработанную схему пассивной части RFID [2]. Сигнал принимается фотодиодом, подключённым к чипу. Тот передаёт записанную на него информацию на работающий в видимом диапазоне светодиод, сигналы с которого поступают на терминал. В том случае, если питания от одного фотодиода для выбранного чипа окажется недостаточным, то предполагается увеличение числа фотодиодов.

Литература

1. **Garima J., Sanjeet D.** NFC: Advantages, Limits and Future Scope // International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI). 2015. Vol. 4. No. 4. P. 1–12.
2. **Patauner C., Witschnig H., Rinner D., Maier A.**, High Speed RFID/NFC at the Frequency of 13.56 MHz // EURASIP Workshop on RFID. 2007. P. 1–4.

*А.Е. Хахалев, А.А. Шундеева, студенты;
рук. А.В. Калягин, пригл. преп. (НИУ ВШЭ, Москва)*

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ

Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью оптимизации расхода химических препаратов, используемых в опрыскивателях. Избыточное внесение пестицидов и удобрений приводит к повышенным затратам, загрязнению окружающей среды и снижению плодородия почвы. Традиционные методы контроля концентрации рабочей жидкости в опрыскивателях основаны на косвенных измерениях, таких как объем и массовая доля, что снижает точность и оперативность мониторинга. Актуальна разработка высокоточного компактного датчика для измерения концентрации гербицидов, интегрируемого в систему опрыскивания, позволяющего в реальном времени отслеживать точные параметры рабочего раствора.

В настоящей работе обсуждаются возможности применения оптических свойств веществ для определения их концентрации [1]. В процессе разработки датчика использовались методы оптической спектроскопии для определения концентрации растворенных веществ на основе их светопоглощения [2].

В результате был разработан прототип датчика измерения концентрации рабочих растворов для сельскохозяйственных опрыскивателей. Была создана экспериментальная установка, включающая светодиодный источник излучения, фотодетектор и программируемый микроконтроллер для обработки сигналов, определяющий концентрацию гербицидов в водном растворе. Программная часть устройства включает алгоритмы цифровой фильтрации и компенсации помех, связанных с вибрацией и колебаниями температуры. Для калибровки использовался раствор с известной концентрацией.

Перспективы применения данного устройства включают дальнейшую адаптацию технологии для работы с другими химическими препаратами, используемыми в сельском хозяйстве.

Литература

1. **Жарковский Б.И.** Приборы автоматического контроля и регулирования. М.: Высшая школа, 1989. 336 с.
2. **Hardesty J.H., Attili B.** Spectrophotometry and the Beer-Lambert law: an important analytical technique in chemistry // Colling college department of chemistry. 2012. P. 1–6.

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

*К.И. Арихина, Г.А. Соболев, студенты;
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РСПИ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ

На сегодняшний день происходит постоянное развитие таких технологий беспроводных систем связи, как новых поколений мобильной связи 5G и 6G, интернет вещей, спутниковой передачи и других. Одной из основных задач для разработчиков современных систем связи является способность обслуживания одной радиосистемой наибольшего числа абонентов, то есть использование методов множественного доступа. Существующие методы разделения по времени (TDMA — Time Division Multiple Access), по частоте (FDMA — Frequency Division Multiple Access) и коду (CDMA — Code Division Multiple Access) уже не полностью удовлетворяют потребностям, необходимых современному миру. Поэтому важной задачей для разработчиков является создание современных, емких и эффективных методов предоставления множественного доступа в системах связи.

Цель работы — разработка и анализ характеристик радиосистемы передачи информации с множественным доступом.

В данной работе проведен обзор методов множественного доступа в системах связи, кратко изложены сведения о каждом из методов, основанных на разделении по времени, частоте, мощности, коду и пространству. Рассмотрена теория приема сигнала 2ФМ, изучен алгоритм оптимального демодулятора. Реализованы цифровые модели передающей и приемной частей одноканальной РСПИ с модулятором, гауссовским каналом связи и демодулятором 2ФМ. Построена цифровая модель трехканальной РСПИ с FDMA и проанализированы зависимости вероятности битовой ошибки на выходе канального демодулятора от отношения E_b/N_0 .

Литература

1. **Васин В.А., Калмыков В.В.** Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов. 2005. — 472 с.
2. **Сизякова А.Ю.** Методы формирования и демодуляции сигналов ФМ2: Методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2006. — 20 с.
3. Хабр. Обзор методов множественного доступа в беспроводной связи. — URL: https://habr.com/ru/companies/etmc_exponenta/articles/677524/

*Н.С. Нахаев, Я.К. Филатов, студенты;
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕМОДУЛЯТОРА СИГНАЛА 2ФМ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЕМНИКА

В современном мире, где связь играет важнейшую роль в повседневной жизни людей, развитие технологий передачи информации является актуальным направлением исследований. Особый интерес представляет ФМ2 модуляция, которая отличается от АМ и ЧМ модуляций большей помехоустойчивостью. Этот вид модуляции нашел широкое применение в радиосвязи, телекоммуникациях и других отраслях, где требуется надежная передача информации.

Цель работы — изучение основных теоретических аспектов ФМ2 модуляции, разработка цифровой модели РСПИ, а также анализ характеристик системы передачи данных с использованием сигнала ФМ2.

В данной работе проведен анализ существующих подходов к ФМ2 модуляции. Построена и отлажена цифровая модель РСПИ с каналом ФМ2. Исследована эффективность ФМ2 модуляции при различных условиях работы системы связи. На основе полученных результатов проанализирована схема демодулятора сигнала, которая обеспечивает наилучший показатель качества — вероятность битовой ошибки на выходе демодулятора сигнала ФМ2. Проанализированы зависимости вероятности битовой ошибки на выходе демодулятора от конфигурации ФНЧ в составе демодулятора сигнала, выбраны наилучшие параметры ФНЧ по критерию минимума вероятности битовой ошибки.

Литература

1. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е испр.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. — 1104 с.
2. Радиотехнические системы передачи информации: Учеб. Пособие для вузов / В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук и др.; Под ред. В.В. Калмыкова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.
3. **Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С.** Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. Пособие. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 392 с.
4. **Сизякова А.Ю.** Методы формирования и демодуляции ФМ2: Методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2006. — 20 с.

*А.Д. Наваева, студент;
рук. А.Ю. Шатилов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

СОЗДАНИЕ ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА НА ОСНОВЕ RTL-SDR

Выявление источников помех в СРНС в настоящий момент является актуальной задачей в данной сфере. В работе рассматривается создание бюджетного портативного анализатора спектра на основе USB-устройства RTL-SDR, которое можно использовать в качестве мобильного радио сканера, чья стоимость составляет около 30 долларов США.

Устройство управляется приложением на устройстве с ОС Android, что позволяет использовать его с большинством смартфонов. Экран смартфона используется для вывода полученного спектра. Приложение создано на основе уже существующего RF Analyzer. В модифицированной версии приложения по сравнению с оригиналом был значительно расширен диапазон одновременно сканируемых частот, пересмотрен подход к расчету мощности сигнала, частично переработан интерфейс, добавлен новый функционал и вырезан нерелевантный, который изначально был в оригинале и не имел отношения к решению поставленной задачи.

На предыдущей конференции МНТК была продемонстрирована более ранняя версия этой программы. С того момента, приложение было доработано: улучшена производительность, доработан интерфейс и добавлена возможность установки курсора на спектр для более точных измерений точек самого спектра.

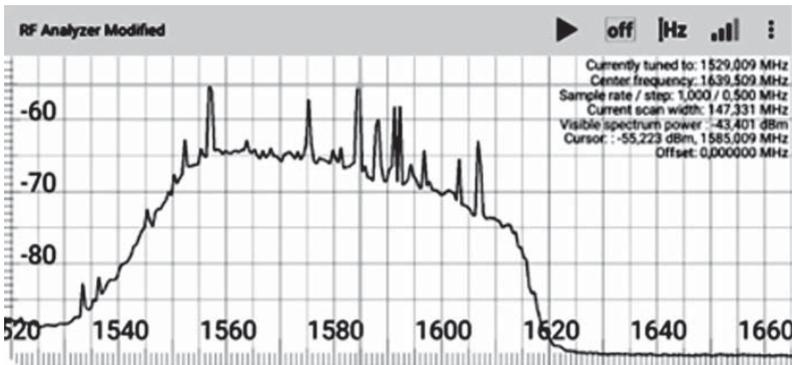


Рис. 1. Снимок экрана из текущей версии модифицированного приложения (цвета инвертированы)

Литература

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

А.А. Захаркин, студ.;
рук. А.А. Овинников, к.т.н., доц. (РГРТУ, Рязань)

РЕАЛИЗАЦИЯ МАЖОРИТАРНОГО ДЕКОДЕРА ДЛЯ КОДОВ РИДА-МАЛЛЕРА

В основе данной работы стоит задача реализации мажоритарного и порогового декодирования и их согласование между собой. Описаны результаты реализации мажоритарного декодирования.

Была разработана цифровая модель канала связи с АБГШ источником, кодером, декодером для (8,4)-кода Рида-Маллера, полученным путём расширения (7,4)-кода Хэмминга в соответствии с алгоритмом [1] и [2]. В последствии модель была обобщена для всего класса подобных кодов, получаемых посредством расширения кодов Хэмминга или получаемых посредством применения свойства дуальности к иным кодам этой группы.

Для тестирования схемы был выбран канал АБГШ с модуляцией BPSK с жёсткими решениями. Результаты тестирования канала с кодом Рида-Маллера и мажоритарным декодированием соответствуют теоретическим с малым отклонением (рис. 1).

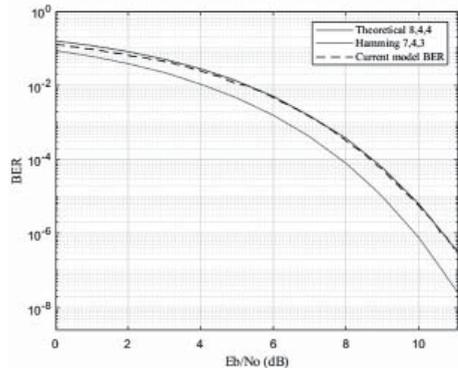


Рис. 1. Сравнительные BER кодов (7,4)-Хэмминга, (8,4)-РМ и смоделированного (8,4)-РМ, обозначенный пунктиром

Литература

1. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2006.
2. Захаркин А.А., Овинников А.А. Методика получения кодов Рида-Маллера путём расширения кодов Хэмминга // Современные технологии в науке и образовании: Тр. 7-й Межд. Конф. Рязань: РГРТУ, 2024. Т. 3.

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ С АКТИВНЫМИ ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ И ПАССИВНЫМИ НОСИМЫМИ МОДУЛЯМИ

Фактическим стандартом для навигации в открытом пространстве являются глобальные спутниковые навигационные системы (ГНСС), однако их радиосигналы имеют низкое качество или недоступны в зонах, где присутствует помеховая обстановка. Для решения задач позиционирования объектов в областях, где ГНСС не обеспечивают достаточное качество работы, применяются локальные навигационные системы (ЛНС). Одним из самых перспективных направлений является использование сверхширокополосных (СШП) ЛНС, обеспечивающих более высокую точность определения координат по сравнению с аналогичными системами на базе Bluetooth и Wi-fi.

На данный момент большинство ЛНС инфраструктурные, то есть для функционирования требуют заранее развернутую систему опорных радионавигационных точек (ОРНТ), координаты которых заранее известны. Они в свою очередь обеспечивают определение координат мобильных устройств — носимых модулей (НМ). В большинстве случаев такие системы работают по беззапросной архитектуре: НМ излучают радиосигнал, а ОРНТ принимают его. Все данные собираются с ОРНТ и обрабатываются на персональном компьютере (ПК). В таком случае координаты НМ знает только оператор ПК, и такое решение не подходит при навигации роботов и беспилотных летательных аппаратов, так как им самим необходима информация в какой точке пространства они находятся в определенный момент времени.

В данной работе рассматривается ЛНС на базе СШП сигналов с активными ОРНТ и пассивными НМ. Цель работы — разработать модель ЛНС, в которой навигационной решение будет доступно на борту НМ.

Научно-техническая ценность заключается в разработке принципиально нового алгоритма работы СШП ЛНС, построенного на методе передачи информации, отличающегося от общепринятых.

Литература

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

*С.В. Оробченко, А.Д. Евсеев, С.В. Черных, К.В. Кочка,
И.Б. Галуев, студ.; Н.И. Петухов, ст. преп.;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ПАРКОВКЕ

Навигационные системы, реализующие позиционирование транспортного средства (ТС) на парковке, позволяют решать широкий спектр задач, среди которых можно выделить: предотвращение неправомерного использования инвалидных мест, определение промежутка времени, в течение которого ТС припарковано и др. В настоящее время задача позиционирования ТС на парковке является актуальной.

Данное экспериментальное исследование проводится с целью оценки качества навигационных определений, получаемых при позиционировании ТС на парковке с помощью локальной навигационной системы (ЛНС) на базе СШП сигналов [1]. В данной работе рассматривается городская параллельная парковка вдоль дороги. Особенностью задачи определения местоположения ТС на заданном виде парковки является невозможность размещения опорных радионавигационных точек (ОРНТ) на проезжей части. В условиях данного ограничения ОРНТ размещаются с одной стороны рабочей зоны «в линию».

Требуется определить оптимальное размещение ОРНТ, при котором достигается прием радиосигналов носимых радиомодулей на ОРНТ при достаточной точности определения координат ТС.

Объектом исследования является точность позиционирования ТС при заданной конфигурации ОРНТ, шаг размещения ОРНТ вдоль рабочей зоны (для оценки минимального количества ОРНТ при обеспечении заданной точности), а также расстояние от линии, вдоль которой расположены ОРНТ, до парковочной зоны.

Цель работы — экспериментальное исследование возможности использования локальной навигационной системы для задачи позиционирования автомобиля на парковке. Научно-техническая ценность заключается в новом подходе к позиционированию ТС на парковке.

Литература

1. **A. Chugunov, R. Kulikov, A. Malyshev, N. Petukhov, T. Brovko and M. Savin**, «Experimental Evaluation of Positioning Efficiency in TDoA Navigation System Based on UWB,» 2022 Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), Yekaterinburg, Russian Federation, 2022, pp. 171–174.

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАДАЧИ РЕГИСТРАЦИИ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

На сегодняшний день на многополосном пункте взимания платы (ПВП) на платных дорогах актуальной является задача определения полосы движения транспортного средства (ТС) для автоматического взимания платы за проезд. Для решения данной задачи применяется технология Wi-Fi DSRC (dedicated short-range communications). Такая система включает две составляющие: считыватель и транспондер. Считыватели устанавливаются над полосой движения ТС (как правило по два устройства на полосу), а транспондеры размещаются непосредственно в ТС. С учетом стоимости соответствующего оборудования развертывание инфраструктуры является дорогостоящей процедурой.

В настоящее время проводится значительное количество исследований и разработок в области ЛНС на базе сверхширокополосных (СШП) радиосигналов [1]. Применяя системы, использующие такие сигналы, для решения задачи определения полосы движения ТС на ПВП позволяет снизить стоимость развертывания инфраструктуры за счет меньшего числа используемых устройств и меньшей на порядок стоимости одного устройства. Кроме того, регистрация полосы движения ТС основано на определении локальных координат ТС, что обеспечивает новые качественные возможности: определение скорости и направления движения, фиксация остановки ТС в полосе.

Целью работы является экспериментальное исследование возможностей СШП ЛНС для задачи регистрации полосы движения ТС.

В работе рассматривались различные варианты расстановок опорных точек ЛНС. В самой худшей конфигурации, когда пять опорных точек размещались на одной прямой, вероятность правильной регистрации полосы составила 0.95 при общем количестве проездов 68.

Литература

1. **A. Chugunov, R. Kulikov, A. Malyshev, N. Petukhov, T. Brovko and M. Savin**, «Experimental Evaluation of Positioning Efficiency in TDoA Navigation System Based on UWB,» 2022 Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, Yekaterinburg, Russian Federation, 2022, pp. 171–174, doi: 10.1109/USBREIT56278.2022.9923331.

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Глобальные спутниковые навигационные системы (ГНСС) являются основным стандартом для навигации в открытых пространствах. Однако их радиосигналы могут иметь низкое качество или быть недоступными в условиях помех. Для решения задач позиционирования в таких областях, где ГНСС не могут обеспечить необходимую точность, используются локальные навигационные системы (ЛНС). Одним из наиболее перспективных направлений является применение ЛНС на основе сверхширокополосных (СШП) сигналов, обеспечивающих более высокую точность определения координат по сравнению с радиосистемами на основе сигналов стандартов Bluetooth и Wi-Fi.

На данный момент большинство ЛНС инфраструктурные, то есть для функционирования требуют заранее развернутую систему опорных радионавигационных точек (ОРНТ), координаты которых заранее известны. Они в свою очередь обеспечивают определение координат мобильных устройств — носимых модулей (НМ). НМ могут быть прикреплены к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) или к корпусу робота для их навигации внутри помещений. При наличии двух пространственно-разнесенных НМ на БПЛА появляется возможность оценивать его угол поворота в локальной системе координат [1]. Благодаря такому подходу можно отказаться от использования электронных компасов на борту БПЛА, так как они не обеспечивают заданную точность при наличии металлических конструкций в рабочей зоне.

В данной работе рассматривается ЛНС на базе СШП сигналов. Цель работы — разработка алгоритма оценки угловых координат БПЛА с помощью СШП сигналов, а также исследование разрешающих способностей по времени таких систем.

Научно-техническая ценность заключается в разработке нового подхода к оценке ориентации БПЛА в локальной системе координат с помощью ЛНС на основе СШП сигналов.

Литература

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

*А.О. Кожевникова, студ.; А.П. Малышев, асп.;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОРРЕЛЯТОРА ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО РАДИОСИГНАЛА ГНСС ГЛОНАСС ОТКРЫТОГО ДОСТУПА С КODOVЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ В ДИАПАЗОНЕ L1

С расширением сфер использования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) возрастают требования к точности навигационного обеспечения, что делает актуальным совершенствование технологий спутниковой навигации. Одним из направлений развития системы ГЛОНАСС является внедрение новых навигационных радиосигналов, поскольку именно их тип во многом определяет погрешность навигационных определений. Для исследования возможностей приема и обработки радиосигнала ГНСС ГЛОНАСС открытого доступа с кодовым разделением в диапазоне L1 (ГЛОНАСС L1OC) в навигационной аппаратуре потребителя (НАП) предлагается разработать имитационную модель коррелятора, позволяющей учесть особенности построения коррелятора для данного сигнала [1].

Целью доклада является демонстрация возможностей имитационной модели коррелятора НАП ГНСС для сигнала ГНСС ГЛОНАСС L1OC, позволяющей исследовать различные аспекты приема и обработки данного сигнала.

Имитационная модель разработана с использованием кроссплатформенного фреймворка QT с возможностью работы на отечественной операционной системе Astra Linux. Модель позволяет пользователю формировать опорные псевдослучайные последовательности для компонент сигнала L1OC с учетом временного разделения, формировать значения корреляционных сумм при отдельной и совместной обработке компонент, учитывать влияние радиочастотного блока НАП на характеристики корреляционных сумм.

Разработанную имитационную модель предполагается использовать в лабораторном практикуме по курсу «Аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем» «НИУ «МЭИ» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под ред. А.И. Перова. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.: ил. ISBN 978-5-93108-198-4

Э.М. Любченко, Г.Н. Тулин, студ.;
Т.А. Бровко, А.П. Малышев, асп.;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЭФЕМЕРИДНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЛОНАСС

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) представляет собой одну из ключевых технологий, которая обеспечивает навигацию и множество связанных функций, используемых повсеместно. ГНСС ГЛОНАСС на данный момент находится на этапе модернизации. При оценке возможных путей развития системы активно используются методы математического моделирования, позволяющие учесть влияние тех или иных факторов на итоговую погрешность местоопределения.

На сегодняшний день, не существует полноценной модели цифрового двойника ГЛОНАСС, который отвечает за функционирование всей системы в целом. Это обусловлено сложностью и многослойностью работы ГНСС, где каждый элемент требует специализированного подхода. Поэтому, в большинстве случаев, моделируются отдельные элементы системы, каждый из которых решает свою конкретную задачу.

Одной из важных задач можно обозначить формирование навигационного сообщения на борту навигационного космического аппарата (НКА), в котором содержится информация о координатах и составляющих вектора скорости НКА, передаваемых с наземного сегмента контроля и управления [1].

На текущем этапе развития ГЛОНАСС погрешность эфемеридного обеспечения вносит значительный вклад в итоговую погрешность оценки координат [1]. Поэтому моделирование данной составляющей погрешности оценки координат и влияние элементов подсистем ГЛОНАСС на неё является актуальным.

Целью работы является исследование погрешности эфемеридного обеспечения для текущего состояния орбитальной группировки ГЛОНАСС.

В данной работе представлены предварительные результаты исследования вариантов построения моделей и воспроизведение погрешностей эфемеридного обеспечения НКА ГЛОНАСС.

Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под ред. А.И. Перова. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.: ил. ISBN 978-5-93108-198-4

П.В. Кузнецов, асп.; рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ГНСС

Мультичастотность и мультисистемность ГНСС приемника является несомненным преимуществом, позволяющим: устранять ионосферную ошибку, уменьшать влияние многолучевости, улучшать геометрическое распределение видимых спутников систем ГНСС [1]. Кроме этого, широкое распространение методов цифровой обработки сигналов, его преимуществ и значительных технологических успехов в создании высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей, позволило оцифровать значительную часть полосы частот, которую занимают сигналы ГНСС, и программно обрабатывать эти сигналы.

Метод оцифровки полосы частот во второй и последующих зонах Найквиста позволяет оцифровать большую полосу частот, занимаемую сигналами при этом не дублируя аппаратуру оцифровки сигналов [2]. Предложен способ оцифровки полосы частот сигналов ГНСС с последующей совместной обработкой. Рассмотрены взаимные корреляционные свойства дальномерных кодов. На рис. 1 представлена структурная схема предложенного способа.

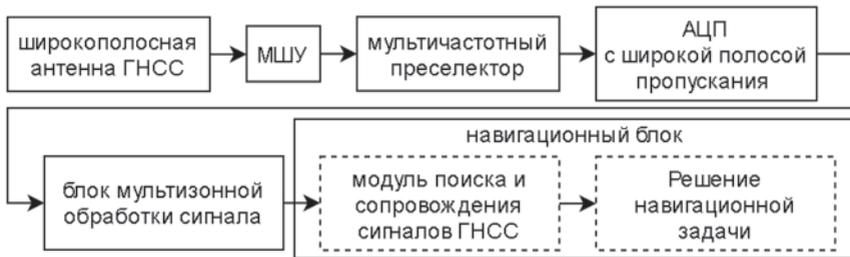


Рис. 1. Структурная схема способа оцифровки и совместной обработки

Математическое моделирование показывало возможность оцифровки и обработки сигналов ГНСС, при которой удалось получить выигрыш в отношении сигнал/шум более чем на 1,8 дБ.

Литература

1. **Xiao Hu.** Benefits from a multi-receiver architecture for GNSS precise positioning and attitude determination. Networking and Internet Architecture [cs.NI]. Institut National Polytechnique de Toulouse — INPT, 2021. English.
2. **Gomes, D.; Baptista, D.; Dinis, H.; Mendes, P.M.; Lopes, S.** Software-Defined Platform for Global Navigation Satellite System Antenna Array Development and Testing. Appl. Sci. 2024, 14, 9621. <https://doi.org/10.3390/app14219621>

*К.В. Кочка, С.В. Оробченко, студ., А.Д. Евсеев, студ.,
С.В. Черных, студ., И.Б. Галуев, студ., А.М. Михайлов, студ.;
рук. Н.И. Петухов, старш. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПО РАЗМЕЩЕНИЮ КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Для эффективного мониторинга в локальных навигационных системах (ЛНС) важным аспектом является правильная расстановка камер, обеспечивающих визуальный контроль за объектами и процессами внутри помещений. В условиях, когда сигналы глобальных навигационных спутниковых систем недоступны, камеры могут служить важным инструментом для получения координатных определений и анализа ситуации.

Оптимизация размещения камер в ЛНС представляет собой сложную задачу, которая требует учета множества факторов, таких как угол обзора, расстояние до объектов, освещенность и возможные препятствия. Традиционно, выбор мест установки камер осуществляется интуитивно, что может привести к недостаточному покрытию или избыточности оборудования, увеличивая затраты на инфраструктуру.

Для решения этой задачи можно использовать генетические алгоритмы, которые являются мощным инструментом для решения задач оптимизации. Генетические алгоритмы работают на основе принципов естественного отбора и эволюции, что позволяет находить оптимальные решения в сложных и многомерных пространствах [1]. В контексте расстановки камер, алгоритм может быть настроен на минимизацию числа камер при максимизации их охвата и качества изображения.

Таким образом, применение генетических алгоритмов для оптимизации расстановки камер в ЛНС позволяет значительно повысить эффективность мониторинга, снижая затраты на инфраструктуру и обеспечивая надежное покрытие всех критически важных зон.

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, pp. 1–6, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086912.

В.А. Юшин, Г.Н. Тулин, К.А. Белоглазов, студ.;
рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАГРАДИТЕЛЬНОЙ ПОМЕХИ НА ТОЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПОТРЕБИТЕЛЯ НА ПЛАТФОРМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ «ПОТОК»

В современных условиях, когда количество источников помех возрастает, проблема анализа влияния заградительной помехи на точность определения координат навигационной аппаратуры потребителя (НАП) становится особенно актуальной. Это связано с появлением новых технологий создания помех и увеличением числа потенциальных источников помех как естественного, так и искусственного происхождения.

На сегодняшний день количество исследований, посвящённых анализу влияния заградительных помех на погрешность решения навигационной задачи НАП, остаётся ограниченным. Это определяет необходимость дальнейшего изучения указанных явлений в контексте повышения точности определения координат объекта.

Важной задачей анализа является оценка устойчивости алгоритмов обработки навигационных сигналов, полученных с навигационных космических аппаратов (НКА), к заградительной помехе, что позволит выявить уязвимости и разработать помехоустойчивые алгоритмы.

Целью работы является проведение анализа влияния заградительной помехи на погрешность определения координат навигационной аппаратуры потребителя для дальнейшей разработки помехоустойчивых алгоритмов для решения навигационной задачи в НАП на платформе моделирования «Поток» [1].

В данной работе представлены результаты исследования, включающие моделирование воздействия заградительных помех на работу динамической и статической НАП, координаты которой получаются в результате решения навигационной задачи, основанной на методе наименьших квадратов (МНК), а также оценки получаемых координатных определений.

Литература

1. Р.С. Куликов, С.В. Вишняков, А.П. Малышев, М.А. Орлова, Т.А. Бровко «Поток» — распределённая платформа моделирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС // Космические аппараты и технологии. 2024. Т. 8. № 1. С. 57–63.
2. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под ред. А.И. Перова. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.: ил. ISBN 978-5-93108-198-4

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

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ РАДИОМОДЕМА GMSK С ПРИМЕНЕНИЕМ HASKRF ONE

Метод GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) широко применяется в радиосвязи благодаря его спектральной эффективности и устойчивости к интерференции. Этот метод используется в таких системах, как GSM, Bluetooth и других. Создание универсального решения для передачи и приема GMSK сигналов, способного работать в реальном времени, актуально для исследовательских задач и разработки новых систем связи [1].

Представленная работа основана на реализации полного цикла обработки GMSK-сигнала, начиная с его генерации и заканчивая приемом и декодированием. В ходе исследования реализована гибкая структура радиомодема, способная адаптироваться к различным параметрам сигнала, что делает ее универсальной для исследований в области телекоммуникаций. Новизна также заключается в интеграции SDR с традиционными протоколами передачи данных, такими как UDP, что обеспечивает возможность передачи видеоданных в реальном времени [2].

Были разработаны настройки параметров, такие как выборка на символ, частотная коррекция и фильтрация, что обеспечило устойчивую передачу данных с минимальными потерями.

Разработанный радиомодем GMSK может быть использован в образовательных целях для обучения работе с SDR и методам цифровой обработки сигналов. В промышленной сфере его можно применять для создания недорогих и гибких систем связи. Кроме того, результаты могут быть использованы для модернизации существующих систем связи или разработки новых протоколов передачи данных с акцентом на их спектральную эффективность.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует возможности SDR для реализации современных систем связи, подтверждая их значимость как для научных разработок, так и для практических применений.

Литература

1. **Светлаков М.Д., Левин Е.К.** Исследование помехоустойчивости MSK и GMSK сигналов — URL: https://iitr.vlsu.ru/images/sntk2020/rtrs_3/rtrs_3_4.pdf (дата обращения: 16.11.2024).
2. **Григорьевых Е.А., Хафизов Д.Г., Хафизов Р.Г.** Моделирование радиотехнических и телекоммуникационных устройств // Учебное пособие. — 2023. — 92 с.

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

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ HACKRF ONE

Псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ) в современных системах связи обусловлена необходимостью обеспечения устойчивости радиосигналов к внешним помехам и защиты передаваемой информации от перехвата. Использование ППРЧ позволяет значительно снизить вероятность перехвата сигнала и затруднить работу устройств радиоразведки за счет динамического изменения частоты передачи, что особенно важно в критически значимых системах связи.

Проведенные исследования заключаются в реализации метода ППРЧ с использованием программно-определяемой радиосистемы (SDR) HackRF One и программного обеспечения GNU Radio, которые позволяют гибко настраивать параметры работы радиосистемы в реальном времени. В рамках данной работы был разработан программный модуль на языке Python, реализующий алгоритм перестройки рабочей частоты по заданным временным и частотным параметрам, что обеспечивает устойчивость связи в широком диапазоне частот [1].

Были заданы параметры частотного диапазона, временных задержек и шагов изменения частоты, обеспечивающие оптимальное сочетание помехоустойчивости и производительности системы. Также были исследованы практические аспекты интеграции разработанного решения в GNU Radio и предложены способы минимизации задержек при переключении частот.

Перспективы использования полученных результатов включают применение разработанной системы в широком спектре задач. Это включает создание защищенных каналов связи для государственных структур, улучшение помехоустойчивости гражданских радиосистем в условиях плотного радиочастотного спектра, а также применение в образовательных целях для изучения принципов ППРЧ [2].

Литература

1. **Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты // СПб, 2013. — 166 с.
2. **Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е.** Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты // М.: РадиоСофт, 2008 — 512 с.

А.С. Юзефович, студ.;
рук. Е.В. Силаева, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ГЛОНАСС НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Современные спутниковые навигационные системы, такие как ГЛОНАСС, имеют широкий спектр применения, однако задача эффективного обнаружения радиосигналов в условиях высокого уровня шума и большого числа пользователей остается актуальной. Для решения данной проблемы предлагается использование вейвлет-преобразования.

Целью данной работы является разработка модели в программном виде, реализующей метод обнаружения пилотной компоненты радиосигнала ГЛОНАСС с кодовым разделением с применением вейвлет-преобразования, которое имеет ряд преимуществ:

- Мультиразрешающий анализ;
- Компактное представление данных;
- Эффективное отделение полезного сигнала от шума;
- Легкость интеграции в программные системы.

Вейвлет-преобразование используется для анализа сигнала на различных уровнях детализации, что позволяет эффективно отделять полезный сигнал от шума и уменьшать вычислительную нагрузку. Структура многошагового алгоритма декомпозиции и реконструкции сигнала, известная как алгоритм Маллата, позволяет разложить сигнал на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты. Применение пороговой обработки сигналов на основе детализирующих коэффициентов позволяет значительно снизить уровень шума.

В результате работы проведен обзор существующих алгоритмов обнаружения радиосигналов ГЛОНАСС и основ вейвлет-преобразования. Смоделирован и реализован в программном виде алгоритм поиска радиосигнала с использованием вейвлет-преобразования. Проверена его работоспособность при обработке пилотной компоненты радиосигнала ГЛОНАСС с кодовым разделением. Применение дискретного вейвлет-преобразования позволило значительно снизить уровень шума и увеличить скорость обработки радиосигнала в 3 раза.

Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под редакцией А.И. Перова. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 464 стр.

*В.В. Исламахунова, студ.;
рук. А.С. Волков, к.т.н., доц. (МТУСИ, Москва)*

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Анализ помехоустойчивых кодов в оптических системах связи — это важный этап проектирования современных высокоскоростных каналов передачи данных, направленный на повышение их надежности. Такие коды предназначены для коррекции ошибок, вызванных шумом, затуханием, дисперсией (CD и PMD) и нелинейными эффектами в оптических волокнах.

В оптических системах связи декодеры таких кодов реализуются на основе двух подходов: с жестким (HD) и мягким (SD) решением. HD преобразует сигнал в четкий бит: либо 0, либо 1, теряя информацию о том, насколько сигнал близок к пороговому значению. Это делает данный метод менее точным, а код не столь эффективным. SD обрабатывает сигнал с учетом уровней квантования, улучшая надежность решения [1]. Поэтому в настоящее время современные системы связи всё чаще применяют SD, используя алгоритмы для таких кодов, как LDPC (англ. Low-Density Parity-Check Codes). Данные коды особенно перспективны для оптических систем связи, поскольку они способны обеспечить надежную передачу данных на высоких скоростях и при низком уровне мощности сигнала [2].

В рамках данного исследования проведен анализ эффективности кодов, который показал, что использование LDPC позволяет снизить BER на 1,5–2 дБ по сравнению с традиционными методами кодирования. Также предложен новый подход, основанный на совмещенном использовании длинных LDPC и коротких полярных кодов на внутренней ступени кодирования, что улучшает достоверность передачи информации в оптических каналах связи за счет повышения их корректирующей способности. Ведь до этого полярные коды применялись по отдельности и исключительно в системе радиосвязи. В планах — оптимизация и практическая проверка данного подхода с целью его внедрения в оптические системы связи.

Литература

1. Tzimpragos, G., Kachris, C., Djordjevic, I. B., Cvijetic, M., Soudris, D., and Tomkos, I. A Survey on FEC Codes for 100 G and beyond Optical Networks // IEEE Communications Surveys and Tutorials. — 2016. — Vol. 18. — № 1. — pp. 209–221.
2. Волков А.С., Солодков А.В., Сулова К.О., Стрельников А.П. Прототипирование помехоустойчивых кодов в системах связи с кодовым разделением каналов // Труды МАИ. — 2021. — № 119.

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

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КОНФИГУРАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Настоящая работа посвящена обзору технологий построения беспроводных информационных сетей для мобильных роботов, взаимодействующих во фреймворке ROS2. Важной особенностью рассматриваемых технологий является способность обеспечить связь «каждый с каждым».

Среди рассмотренных технологий выделяются Bluetooth Low Energy (BLE) Mesh, сверхширокополосное радио связь (СШП) и LoRa. BLE Mesh обеспечивает низкое энергопотребление и возможность масштабирования до тысяч узлов, что делает его подходящим для сетей с большим количеством участников [1]. В тоже время технология СШП пока не имеет готовых технических решений для масштабирования на сети с большим количеством участников, но дает возможность взаимных высокоточных измерений для обеспечения кооперативной навигации и высокую пропускную способность в отличие от BLE Mesh [2]. Также существует технология LoRa, которая может интегрировать тысячи устройств, характеризуется большой дальностью связи и низким энергопотреблением в отличие от остальных технологий, но имеет низкую пропускную способность, что ограничивает обмен данными в реальном времени, и не обладает высокоточными взаимными измерениями [3].

Анализ существующей литературы показывает, что одноранговые сети активно исследуются в контексте робототехнических систем, например на основе СШП для высокоточного позиционирования роя роботов [4]. Выводы данной работы могут служить основой для дальнейших исследований в области распределенных робототехнических систем и выбора оптимальной технологии для реализации беспроводной информационной сети.

Литература

1. **Darroudi S.M., Gomez C.** Bluetooth low energy mesh networks: A survey // *Sensors*. — 2017. — Т. 17. — № 7. — С. 1467.
2. **Wang B.** Overview of ultra-wideband transceivers—System architectures and applications // *Tsinghua Science and Technology*. — 2021. — Т. 27. — № 3. — С. 481–494.
3. **Almuhaya M.A.M.** A survey on Lorawan technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions // *Electronics*. — 2022. — Т. 11. — № 1. — С. 164.
4. **M. Ridolfi** “UWB-based Localization Technology: A Survey and Outlook.” *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 222652–222690.

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

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Низкоорбитальные спутниковые системы, также известные как LEO (Low Earth Orbit), играют все более важную роль в современной телекоммуникационной инфраструктуре. Они открывают уникальные возможности для глобального покрытия и высокоскоростного доступа в интернет. В условиях растущего спроса на качественную связь, такие проекты, как Starlink и OneWeb, а также отечественные разработки, такие как федеральный проект «Сфера», включающий пять спутниковых группировок связи: «Ямал», «Экспресс-РВ», «Экспресс», «Скиф» и «Марафон», сталкиваются с новыми вызовами.

Однако, эксплуатируемые или уже проектируемые системы строятся в отрыве от реальных запросов на их интегральные показатели качества. Среди них, низкая задержка сигнала, высокая пропускная способность и доступность в удаленных районах. Их основными недостатками остаются высокая стоимость развертывания, необходимость частого обновления спутников и проблемы, связанные с космическим мусором. Для оценки качества таких систем используются интегральные показатели качества, такие как задержка в линии связи, пропускная способность, надежность линии связи и покрытие территорий.

Прогнозы указывают, что к 2035 году низкоорбитальные спутниковые системы обеспечат скорости передачи данных свыше 500 Мбит/с при задержке менее 20 мс, а к 2050 году ожидается их интеграция с наземными сетями 6G для создания непрерывного и высокоскоростного подключения к глобальной сети связи. Однако возникает вопрос: насколько это востребовано и для каких задач?

Один из перспективных сценариев — создание сети дронопортов по всей России для развертывания беспилотных летательных аппаратов для мониторинга территорий и непрерывной оцифровки карты страны. Данные могут использоваться для мониторинга лесных пожаров, незаконной вырубке лесов, управления земельными ресурсами и кадастровых задач.

В работе представлен анализ текущих характеристик LEO-систем, методика расчета интегральных показателей качества перспективной LEO-системы и прогноз развития на горизонты 2035 и 2050 годов с учетом масштабных сценариев использования.

Литература

1. **O. Kodheli et al.**, “Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70–109, Firstquarter 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3028247.
2. **X. Lin, S. Cioni, G. Charbit, N. Chuberre, S. Hellsten and J.-F. Boutillon**, “On the Path to 6G: Embracing the Next Wave of Low Earth Orbit Satellite Access,” in *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 12, pp. 36–42, December 2021, doi: 10.1109/MCOM.001.2100298.

*А.Р. Юсупов, С.В. Черных, И.Б. Галуев, И.К. Щербатых,
С.В. Оробченко, А.Д. Евсеев, студ., С.А. Серов, асп. ;
рук. А.А. Чугунов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

На сегодняшний день человечеству необходимы технологии навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) не только в открытых пространствах, но и внутри помещений. Существуют различные технологии локальной навигации, включая ультразвуковые системы, инерциальные навигационные системы (ИНС) и радиотехнические решения, такие как узкополосные и широкополосные системы. Технология сверхширокополосных (СШП) сигналов демонстрирует высокую точность определения координат и устойчивость к многолучевости, что делает ее перспективной для применения в навигационных системах внутри помещений [1].

В рамках разработки локальной навигационной системы для БПЛА выбрана беззапросная разностно-дальномерная архитектура с пассивными мобильными модулями. Данная архитектура позволяет эффективно отслеживать координаты объектов с высоким темпом обновления данных на борту БПЛА, что является критически важным для задач навигации в динамичных условиях. А также обеспечивает неограниченное количество одновременно отслеживаемых летательных аппаратов и высокую точность определения координат, что делает применяемую архитектуру инновационной и оптимально подходящей для использования в качестве решения задач навигации БПЛА.

Целью работы является разработка аппаратной части локальной навигационной системы на основе технологии сверхширокополосных сигналов с использованием новой архитектуры позиционирования для БПЛА.

Разработана конструкторская документация в виде чертежей и документов, необходимых для производства. Изготовлены прототипы устройств, соответствующие 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.А. Белоглазов, Г.Н. Тулин, В.А. Юшин, студ.;
рук. Н.И. Петухов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ФОРМИРОВАТЕЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ДИАПАЗОНЕ L1 ИЛИ L2 НА БАЗЕ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА USRP E310

В радиолокации, гидролокации, радиосвязи и других областях техники в последние годы значительно возрос интерес к антенным решеткам. Важнейшим из преимуществ, присущим антенным решеткам, является относительная простота формирования и изменения диаграммы направленности. Благодаря этим свойствам удалось создать качественно новый тип устройств пространственной обработки сигналов, а именно адаптивные антенные решетки.

Адаптивная антенная решетка представляет собой систему, состоящую из антенной решетки и связанного с ней устройства обработки сигналов (процессора), изменяющего свои параметры в соответствии с информацией, извлекаемой из принятых сигналов.

Прием сигнала с помощью многоэлементных антенных решеток в течение длительного времени остается одним из основных методов решения сложных задач обнаружения и оценивания, так как в отношении формирующей диаграммы направленности система с решеткой обладает преимуществами перед системой с одним антенным элементом.

Настоящий доклад посвящен разработке программного обеспечения (ПО) для приемопередатчика USRP серии E310 для генерирования сигналоподобной помехи в диапазонах L1/L2 с перестройкой между этими диапазонами в реальном времени. Выбор данного устройства обуславливается его компактностью, высокой вычислительной мощностью и гибкостью программного управления. В совокупности получается формирователь испытательных сигналов, позволяющий одновременно подавлять сигналы в одном частотном диапазоне, используемый в тестировании работоспособности адаптивных антенных решеток.

Литература

1. **Монзинго Р.А., Миллер Т.У.** Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1986. — 448 с., ил.

Д.О. Макаревич, А.А. Хабачиров, студ.;
рук. Н.И. Петухов, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ УГЛА ПРИХОДА СИГНАЛОВ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ СТАНДАРТА BLUETOOTH

В 2019 году группа компании Bluetooth SIG выпустила новую спецификацию стандарта Bluetooth Low Energy 5.1, в которой структура сигнала была дополнена специальным пакетом CTE (Constant Tone Extension) для определения угла прихода сигнала. Данное событие обозначило тенденцию стандарта Bluetooth к развитию в области локального позиционирования. На данный момент на рынке существуют навигационные системы, которые достаточно досконально изучены и имеют высокие показатели точности (до 10 см). Система локального позиционирования на базе нового стандарта Bluetooth обладает низкой стоимостью и энергопотреблением, но в связи с недостаточной степенью научной проработанности имеет низкие показатели точности (до нескольких метра). Ввиду вышеописанных преимуществ система на базе рассматриваемого стандарта является конкурентом для существующих на данный момент систем локального позиционирования, таких как СШП, Wi-fi, RFID, Zigbee и другие.

В докладе будет рассмотрена угломерная система локального позиционирования на базе стандарта Bluetooth и алгоритмы оценки угла прихода сигналов фазовым методом, обеспечивающие точность порядка 1 метра. Также будут описаны основные факторы, влияющие на точность локального позиционирования.

Литература

1. **Ратынский М.В.** Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. — М.: Радио и связь, 2003.

П.А. Бондарев, студ.; рук. А.С. Жабин, доцент (НИУ «МЭИ»)

ДВУХЧАСТОТНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ АНТЕННОГО ВХОДА ГНСС ПРИЁМНИКА С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНОГО Г-ЗВЕНА

Частотное согласование в радиоприёмных устройствах выполняется преимущественно для одной рабочей полосы частот, что обуславливает ухудшение отношения сигнал/шум при приёме в другом диапазоне частот. Если при приёме навигационных сигналов тракт согласован в диапазоне L1, то качество приёма сигнала в диапазоне L2 будет существенно хуже, так и наоборот. Если требуется принимать сигналы в двух относительно узкополосных частотных диапазонах с применением единого радиочастотного тракта, то применение рассматриваемого метода двухчастотного согласования комплексных нагрузок позволяет устранить этот недостаток.

Известно, что цепь двухчастотного согласования базируется на использовании двух резонансных контуров, каждый из которых настроен на определённую частоту. Эти контуры включаются в цепь согласования таким образом, чтобы одновременно обеспечить передачу сигнала без потерь на двух рабочих частотах.

Метод включает несколько шагов: согласование нагрузки на первой частоте с помощью обычного Г-звена, нахождение входного сопротивления нагрузки с подключенной согласующей цепью на второй частоте, согласование на второй частоте и замена элементов вторых звеньев контурами согласно рассматриваемой методике. В результате синтезируются четыре согласующие цепи, обеспечивающие согласование на двух частотах.

Таким образом применение данного метода позволяет улучшить согласование комплексных нагрузок на двух частотах, что позволяет повысить отношение сигнал шум на рабочих частотах.

Литература

1. **V.S. Panko**, Двухчастотное согласование комплексных нагрузок с помощью двойного Г-звена / Саломатов Ю.П., Панько В.С. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета №3(16), 2007 с 106 ISSN 18169724

И.А. Лисюков, Д.О. Макаревич, студ.;
рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШОГО ОБЪЁМА ДАННЫХ ИЗ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

Современные системы управления базами данных (СУБД) позволяют хранить и обрабатывать большие объемы информации. Однако их использование для анализа требует точного запроса и глубокого понимания организации хранения данных. Большие языковые модели (LLM) представляют собой новую парадигму работы с данными, где модель не только хранит весь объем информации, но и способна анализировать текстовый контекст, обобщать информацию и находить связи. Но существующие доступные решения на базе LLM, такие как [1], не содержат специализированных моделей, адаптированных под предметную область. При использовании готовых облачных решений также присутствуют риски утечки информации, которая требует защиты от несанкционированного доступа, например коммерческая тайна или личные данные.

В докладе рассмотрена разработка автономной системы анализа данных на основе LLM модели с открытым исходным кодом. Модель размещается на собственных серверных мощностях Научно-исследовательской лаборатории кафедры радиотехнических систем без доступа к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», чтобы исключить возможность внутренних и внешних утечек информации. В ходе разработки проведено дообучение модели на подготовленном отраслевом наборе данных, что позволило повысить ее способность к интерпретации профильных терминов и текстов. Было проведено сравнение дообученной и стандартной модели с точки зрения различных показателей качества на профильных данных.

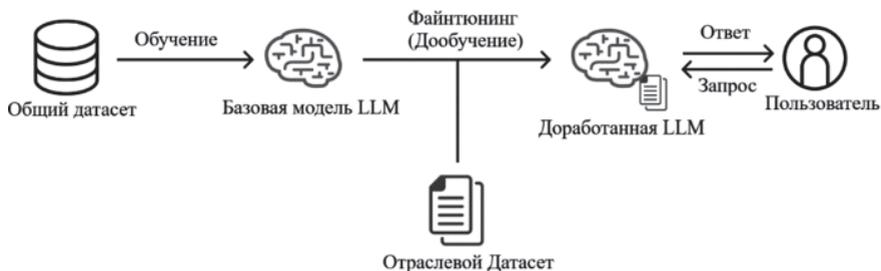


Рис. 1. Упрощенная схема дообучения большой языковой модели

Литература

1. Konstantinos I. Roumeliotis ChatGPT and Open-AI Models: A Preliminary Review. MDPI, 2023.

Секция 8

ФОТОНИКА

Photonics

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

Секретарь секции: Иликеева Римма Анваровна

А.Т. Калаева, студ.; В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДГОТОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ К ВЫВОДУ НА ЗАДАННОЕ УСТРОЙСТВО

Существует множество сфер, где важно обеспечить точную передачу изображений, особенно при их выводе на различные устройства, такие как мониторы и принтеры. Для этого необходимо корректно подготовить изображения, учитывая особенности каждого устройства, чтобы сохранить максимальное сходство в цветопередаче.

Для подготовки изображения к печати его необходимо преобразовать из RGB в CMYK. Это включает определение черного компонента (K) и расчет остальных: циана (C), мадженты (M) и желтого (Y).

К одним из самых ключевым этапов, относится gamut mapping — процесс, позволяющий адаптировать цвета изображения к ограниченному цветовому охвату устройства [1]. Существуют методы:

- Clipping — обрезка цветов вне охвата, что может привести к потере деталей.
- Compression — сжатие цветовой гаммы с сохранением деталей.
- Hue Preservation — сохранение оттенков при изменении яркости или насыщенности.

Для точной передачи цветов на устройстве применяются цветовые профили ICC, которые содержат информацию о том, как правильно отображать цвета для конкретных устройств [2]. Качественная бумага (например, PANTONE) усиливает цветопередачу, делая изображение более насыщенным.

Завершается процесс программной подготовкой изображения к печати. Будем представлять программу, для подготовки изображения выводу на заданное устройство.

Одной из ключевых трудностей является разнообразие характеристик выводных устройств, таких как мониторы и принтеры, с их ограничениями по цветовому охвату. Суть новой программы — обеспечивать максимально одинаковую цветопередачу на различных устройствах.

Она использует все доступные технические средства для точной передачи изображения, автоматизируя процесс gamut mapping и выбирая оптимальный метод (clipping, compression или hue preservation) в зависимости от устройства и типа изображения.

Главное преимущество программы — универсальность.

Литература

1. Фершильд М.Д. Модели цветового восприятия. — СПб.: Изд. А. Шадрина, 2006. — 437 с.
2. Хант Р.В.Г. Цветовоспроизведение. — СПб.: Изд. А. Шадрина, 2009. — 889 с.

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

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСА МЕНЕЕ 10 НАНОСЕКУНД

Наиболее доступный способ генерации оптических импульсов в лазерных диодах (ЛД) на основе полупроводниковых наногетероструктур это прямая накачка ЛД от импульсного источника тока. Однако, обеспечение требуемых уровней и временных параметров излучения ЛД при использовании внешних дискретных элементов, требует создания сложных импульсных генераторов, вследствие чего такие устройства являются дорогостоящими и не всегда достаточно эффективными.

Новым принципиальным решением проблемы накачки является монолитная интеграция тиристорного ключа, как генератора импульсного тока накачки, непосредственно с областью оптического усиления полупроводникового лазера, что обеспечивает автоматическое согласование полупроводникового лазера с низким последовательным сопротивлением с тиристорным ключом и подавление паразитных индуктивностей при коммутации наносекундных импульсов.

Разработка современной технологии создания эпитаксиально-интегрированных наногетероструктур, в которых совмещены функции низковольтного быстродействующего тиристорного ключа и мощного полупроводникового лазера, позволит создать новое поколение мощных импульсных источников излучения — лазер-тиристоров. Тиристор — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более р-п-переходами, который может переключаться между двумя устойчивыми состояниями: «открытое» состояние (состояние высокой проводимости) и «закрытое» состояние (состояние низкой проводимости) [1]. После открытия тиристора величина тока протекающего через лазерный диод (ЛД) определяется суммарным последовательным сопротивлением R_k пары лазер-тиристор:

$$I = V_B / R_k \quad (1)$$

Средняя мощность импульса излучения P при заданной величине тока накачки определяется Ватт-амперной характеристикой ЛД и равна:

$$P = S(I - I_{пор}) \quad (2)$$

где S — эффективность преобразования тока в свет (наклон ватт-амперной характеристики), $I_{пор}$ — пороговый ток ЛД.

Литература

1. **Я.С. Кублановский** «Тиристорные устройства», Москва: «Радио и связь», 1987.

М.Д. Мартиросян, студ.;
рук. В.Э. Цой, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛОГНОРМАЛЬНАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХТОЧЕЧНОГО ИЗГИБА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Двухточечный изгиб образца оптического волокна является методом испытания его на прочность, в ходе него образец последовательно нагружается с помощью двух пластин, одна из которых направляется с помощью шагового двигателя навстречу другой до момента излома образца. Образцы не подвергались эксплуатации до испытаний, целостность их покрытия не нарушалась, образцы контактировали только с атмосферным воздухом и стальными пластинами устройства, с помощью которого проводился эксперимент, подробнее о нём можно узнать в [1].

Прочность отдельного образца — случайная величина (СВ), подчиняющаяся некоторому закону распределения. Этим законом в работе [2] было избрано распределение Вейбулла, в заключении к ней говорится о гипотетическом характере вида распределения, в противовес упоминается логнормальное распределение. Оно обладает гораздо более удобными оценками параметров, а также предоставляет распределение с большим относительно нормального коридором значений в интервале 3σ , поскольку экспонента нормально распределённой СВ есть логнормальная СВ.

Для создания модели было применено несколько методов оценивания параметров, они были взяты из книги [3], кроме МНК, он выражался с помощью формулы (1). Использовались метод максимального правдоподобия, наименьших квадратов и моментов, получившиеся результаты (математическое ожидание и медиана) сравнивались со значениями из спецификаций прибора, которые принимались за истинные.

$$\frac{\ln X_i}{\sigma} - \frac{\mu}{\sigma} = \Phi^{-1}(F(\ln X_i)), \quad (1)$$

где $F(X_i)$ — значение вероятности, μ и σ — параметры сдвига и формы логнормального распределения, Φ^{-1} — обратная функция Лапласа.

Настоящая статистическая модель крайне проста в реализации, достаточно точна для атмосферного воздуха, но сильно ненадёжна относительно искажений данных, как следствие, её применение будет наиболее эффективным в условиях иных сред, к примеру, жидкого азота.

Литература

1. **М.Д. Мартиросян** // ПТЭ. 2024. Т. 67. № 4. — М.: Наука, 2024. [Электронный ресурс]. — URL: <https://iet.ras.ru/2024/4/pub/martirosian.pdf>
2. **Matthewson M., Kurkjian C.R., Gulati S.T.** // J. Am. Ceram. Soc. 1986. V. 69. P. 815.
3. **N.L. Johnson. S. Kotz. N. Balakrishanan.** Continuous univariate distributions. — 2nd ed. Vol. 2. NY: John Wiley & Sons, 1994.

*Д.К. Федь, студ., В.А. Храмов, магистр,
В.А. Рыбина, к.т.н., ст. преп.;
рук. А.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИИ $V(\lambda)$

Функция относительной световой эффективности МКО ($V(\lambda)$) является основополагающей в вопросах фото- и колориметрии. Недавние исследования МКО подтверждают необходимость учета вариаций $V(\lambda)$ среди различных групп населения и возраста [1, 2].

Методика определения значений $V(\lambda_i)$ основана на пороговом обнаружении монохроматических объектов на фонах той же цветности, которое будет обеспечиваться только за счет изменения яркости объекта.

$$V(\lambda_i) = \frac{\Delta L_{en}(\lambda_{min})}{\Delta L_{en}(\lambda_i)} \Bigg|_{L_e=L_{e0}}, \quad (1)$$

где L_{e0} — энергетическая яркость в канале фона, постоянная для всех длин волн от синей до красной области спектра λ_c — $\lambda_{кр}$ и обеспечивающая работу в области Вебера-Фехнера, $\Delta L_{en}(\lambda_i)$ — энергетическая яркость монохроматического объекта с длиной волны λ_i , $\Delta L_{en}(\lambda_{min})$ — значение минимума функции $\Delta L_{en}(\lambda_i)$.

Исследование было выполнено на специальной экспериментальной установке, включающей каналы формирования фона и объекта. Эксперименты проводились методом едва заметного отличия при участии наблюдателей с нормальным цветовым зрением. Впоследствии собранные данные обрабатывались в среде *MATLAB* с использованием полиномиальной аппроксимации 4-й степени.

Экспериментальное исследование подтвердило возможность применения методики и показало значительное, до 10 нм, различие в положении максимумов функции $V(\lambda)$ наблюдателей, что подчеркивает важность учета индивидуальных характеристик.

Дальнейшая работа планируется в направлении подбора яркостных коэффициентов, связывающих спектральные чувствительности рецепторов $l(\lambda)$, $m(\lambda)$, $s(\lambda)$ [2] с функцией $V(\lambda)$.

Литература

1. Roadmap Toward Basing CIE Colorimetry on Cone Fundamentals [Электронный ресурс] // CIE. URL: <https://cie.co.at/publications/roadmap-toward-basing-cie-colorimetry-cone-fundamentals> (дата обращения: 13.11.2024).
2. Research Strategy 2023-2027 [Электронный ресурс] // CIE. URL: <https://cie.co.at/research-strategy/research-strategy-2023-2027> (дата обращения: 13.11.2024).

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

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ЯМ

Суперлюминесцентные диоды сегодня находят широкое практическое применение благодаря комбинации высокой выходной мощности с большой шириной спектра излучения. Вопрос усиления сигнала в квантовых ямах таких полупроводниковых структур является очень актуальным для создания мощных источников излучения.

В данной работе рассматривалась модель прямоугольной потенциальной ямы [1]. Вследствие смешивания состояний тяжелых и легких дырок в таких ямах оказывается возможным наблюдение запрещенных правилами отбора по главному квантовому числу оптических переходов. Расчет коэффициента усиления в квантовой яме суперлюминесцентного диода (СЛД) позволяет определить, какой именно оптический переход вносит основной вклад в излучение прибора при данном токе накачки. Зачастую оказывается, что при рассмотрении двугорбой формы спектра СЛД левый максимум со стороны коротких длин волн соответствует именно запрещенному переходу, хотя на первый взгляд может показаться, что это некоторый разрешенный переход.

В ходе работы были проведены эксперименты, где исследовалось усиленное спонтанное излучение в СЛД, активная среда которого представляла собой квантовую яму из $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с барьерами $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Были получены соответствующие спектры излучения при разных токах накачки. Оказалось, что с ростом тока в суперлюминесценцию вовлекаются оптические переходы на меньших длинах волн. Была построена теоретическая модель, описывающая усиление в такой квантовой яме, и построены соответствующие спектры усиления. Проанализировав их, стало возможным теоретически обосновать тот факт, что помимо разрешенных правилами отбора оптических переходов в рассматриваемой квантовой яме происходят и запрещенные переходы, например, между первой электронной подзоной и n -ой подзоной тяжелых дырок. И те, и те переходы дают вклад в полные спектры излучения рассматриваемого диода.

Таким образом, экспериментальные результаты были теоретически обоснованы с помощью модели оптического усиления, построенной в данной работе. Полученные в работе результаты будут использованы при анализе спектров излучения СЛД, разработанных на основе других квантовых ям.

Литература

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

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛУЧЕНИЯ МИКРОЗЕЛЕНИ В ГИДРОПОННЫХ УСТАНОВКАХ

Микрозелень является очень полезным продуктом, её пищевая ценность во много раз выше, чем у обычной зелени, так как на первом этапе развития росток содержит полезные вещества в максимальной концентрации [1]. Результаты экспериментов помогут оптимизировать выращивание микрозелени, увеличить объемы производства, тем самым повысить популярность и доступность данного продукта.

Было изучено влияние фотопериода, уровней облученности и светораспределения на качество биомассы микрозелени дайкона. Исследования проводятся в УИК ВНИСИ. Для изменения характеристик облучения использовались методы: 1) размещение под облучателями кальки в 1-3 слоя 2) установка черной металлической сетки на облучатель 3) добавление дополнительных источников света 4) пластиковые прозрачные стаканы на каждый горшочек с растением.

Когда листья получали наибольшую фотосинтетическую экспозицию, были получены наилучшие результаты. Этого можно достичь проектированием системы освещения или условиями выращивания, например, установив пластиковые стаканы. Хотя наибольшие массы достигались за 2 недели выращивания, у таких растений на момент сбора был сформирован большие вторичные листья, а первичные начинали вянуть, что негативно сказывалось на вкусовых качествах и внешнем виде. При фотопериоде 20 часов с задержкой включения облучателей до появления всходов оптимальный результат достигался при выращивании в течение одной недели. С учётом сокращения сроков выращивания в 2 раза и отложенного старта облучения будет наблюдаться существенная экономия электроэнергии и получение большего числа урожаев за то же время. Наиболее выгодными по электроэнергии оказались фотопериоды 18 ч и 20 ч с отложенным началом и 12 часов.

Возможна необходимость дополнительной оценки особенностей распределения излучения с использованием кальки и пластиковых стаканов. Необходимо дальнейшее изучение зависимости характеристик от фотопериодов с отложенным стартом облучения.

Литература

1. **Maharshi Bhaswant, Dilip Kumar Shanmugam, Taiki Miyazawa** Microgreens — a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits // *Molecules*. 2023, 28(2), 867.

О.Е. Илюхина, студ.;
рук. О.П. Меламед, к.т.н. (НИУ «МЭИ»),
А.Ю. Дунаев, к.т.н. (ФГУП «ВНИИОФИ», Москва)

ВЫСОКОТОЧНАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БЛЕСКА

Для характеристики оптических свойств материалов используется такая единица величины как блеск, определяемая в соответствии с ГОСТ 31975-2013 [1]. Для обеспечения единства измерений требуется создать высокоточную эталонную установку для измерения блеска. Для снижения погрешностей, обусловленных отличием реальных источников излучения и реальных фотометров от идеальных, предложен спектральный метод измерения блеска.

Схема установки приведена на рисунке 1.

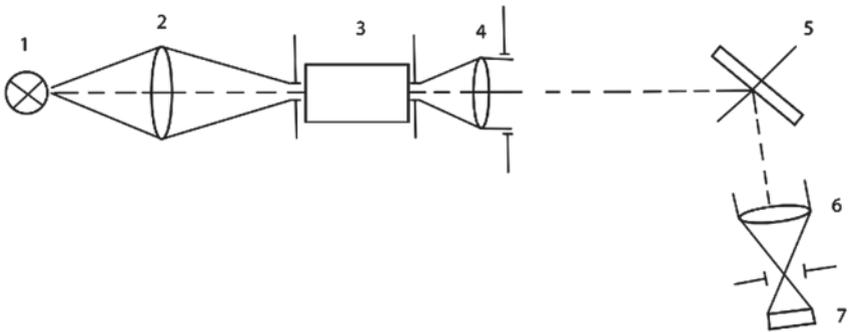


Рис. 1. Схема высокоточной спектральной установки для измерения блеска
 1 — галогенная лампа, 2 — конденсор, 3 — монохроматор, 4 — коллимирующий объектив, 5 — поворотное устройство с эталоном/измеряемым образцом, 6 — фокусирующий объектив, 7 — регистрирующее фотоприемное устройство.

В качестве эталона выступает образец стекла ИКС 6, показатель преломления которого рассчитан через формулы Френеля по результатам измерений его спектрального коэффициента зеркального отражения при разных поляризациях излучения на длине волны 587,6 нм. Производятся измерения величины спектрального блеска в видимом диапазоне длин волн. Мы получаем спектральный блеск на каждой длине волны, а потом путём интегрирования по длинам волн получаем искомый блеск.

Литература

1. **ГОСТ 31975-2013** Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60° и 85°: издание официальное, дата введения: 01.07.2018 г. / Москва: Стандартинформ, 2017.

А.И. Абанин, асп.; рук. А.А. Фотиади, к.ф.-м.н., в.н.с. (УлГУ)

ФОТОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ С ВЫСОКОДОБОТНЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ МИКРОРЕЗОНАТОРАМИ НА ПОДЛОЖКАХ $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$

Фотонные интегральные схемы (ФИС) активно используются для разработки современных фотонных и радиофотонных устройств, находя широкое применение в вычислительной технике, системах связи и радиолокации, системах LIDAR, измерительном оборудовании. Одной из наиболее широко применяемых платформ для производства ФИС является Si_3N_4 . Платформа на основе Si_3N_4 обеспечивает возможность формирования планарных волноводов с низкими оптическими потерями, что в свою очередь позволяет создавать резонаторы с высокой добротностью.

Целью данной работы являлось создание ФИС с высокодобротными кольцевыми микрорезонаторами (МКР) на подложках $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$.

Для изготовления образцов ФИС нами использовались подложки $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ с толщинами слоев SiO_2 и Si_3N_4 2,7 мкм и 450 нм соответственно, изготовленные по предварительно отработанной технологии на отечественном производстве НПК «Технологический центр». Слой SiO_2 формировался методом термического окисления, слой Si_3N_4 — методом химического осаждения из газовой фазы (LPCVD).

Разработка конструкции и шаблонов для формирования интегрально-оптических устройств производилась с помощью Python. Формирование элементов ФИС осуществлялось методом электронно-лучевой литографии. В рамках работы были изготовлены чипы, содержащие: элементы ввода/вывода излучения, оптические волноводы и кольцевые резонаторы с различными геометрическими параметрами.

Измерение оптических спектральных характеристик полученных структур производилось на специализированном стенде. Измеренные спектры пропускания структур позволили рассчитать основные характеристики МКР: собственную и нагруженную добротности, свободный спектральный диапазон (FSR), величину оптических потерь в резонаторе.

Полученные зависимости характеристик кольцевых резонаторов от их геометрических параметров, таких как, например, величина зазора между кольцом и волноводом, позволили определить геометрии дифракционной решетки и кольцевого резонатора, обеспечивающие наилучшие показатели эффективности ввода, добротности и наименьшие оптические потери в диапазоне длин волн 1480–1620 нм.

П.А. Смирнов, соиск.;
рук. П.И. Лазаренко, к.т.н. (НИУ МИЭТ, Зеленоград)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМОРФНОЙ ПЛЕНКИ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, ЧАСТИЧНО АБЛИРОВАННОЙ СВЕТОВОЙ МОДОЙ HG_{01}

Фазопеременные материалы, в частности $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, активно используются в настоящий момент для создания целого спектра различных перестраиваемых элементов оптики и интегральной фотоники. Это связано с возможностью реализации быстрого и обратимого переключения тонких пленок на их основе между аморфным и кристаллическим состояниями, сопровождающегося значительным изменением оптических свойств.

В данной работе проводились теоретическое и экспериментальное исследования возможности определения радиуса лазерного пучка Эрмит-Гауссовой моды HG_{00} с помощью образцов на основе тонких аморфных пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, модифицированных модой HG_{01} с двумя максимумами интенсивности.

Аморфные пленки $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ толщиной 130 нм формировались на стеклянных подложках с помощью метода магнетронного распыления мишени. Формирование структур проводилось непрерывным излучением с длиной волны 532 нм. Мода HG_{01} была получена с помощью конвертера поляризации и линейного поляризатора.

Результаты экспериментов позволили установить, что облучение $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ модой HG_{01} с мощностью выше 100 мВт приводит к образованию в пленке двух кратеров в результате абляции. Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволили продемонстрировать возможность применения интерференционной картины, возникающей за счет взаимодействия моды HG_{00} с частично аблированными тонкими пленками, для определения радиуса зондирующего лазерного пучка HG_{00} .

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Материалы и устройства активной фотоники» (FSMR-2022-0001).

*М.С. Чуканцев, студ.; Е.Д. Рубцова асп.;
рук. И.А. Каменских, к.ф.-м.н., доц. (МГУ им. Ломоносова)*

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА С ЧАСТИЧНЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ СВИНЦА МАРГАНЦЕМ

Уникальные характеристики перовскитов позволяют рассматривать множество их применений. В частности, для детектирования ионизирующего излучения большой интерес представляет субнаносекундная кинетика затухания люминесценции перовскитов, которая делает их перспективной основой для создания сцинтилляторов с высоким временным разрешением. Существенным препятствием для применения данных материалов является выраженное температурное тушение люминесценции, которое приводит к значительному снижению интенсивности при повышении температуры. Принято считать, что в данных материалах наблюдается экситонная люминесценция. Низкая энергия связи экситона по сравнению с kT приводит к наблюдаемому тушению. Одним из способов преодоления данной проблемы является переход к системам пониженной размерности в надежде, что квантово-размерный эффект позволит ослабить тушение [1].

Также, значительный интерес вызывает частичное замещение свинца (Pb) марганцем (Mn) в перовскитах $CsPb_xMn_{1-x}Cl_3$. Введение ионов Mn^{2+} приводит к появлению новой полосы люминесценции в оранжево-красной области спектра, что связано с передачей энергии от экситонов к ионам марганца.

Применение таких материалов наиболее перспективно в создании светодиодов с высокой яркостью и стабильностью излучения. Прототипы таких устройств на основе $CsPb_xMn_{1-x}Cl_3$ демонстрируют стабильное оранжевое свечение. Кроме того, возможности данных материалов расширяются за счет их применения в фотовольтаике, высокочувствительных сенсорах, а также в качестве основы для создания сцинтилляторов с улучшенными характеристиками [2, 3].

В работе исследовались люминесцентные свойства $CsPb_{0,4}Mn_{0,6}Cl_3$ в зависимости от температуры и кинетика люминесценции.

Литература

1. **Kumar, S.** Efficient Blue Electroluminescence Using Quantum Confined Two-Dimensional Perovskites // ACS Nano 2016, 10, 9720–9729.
2. **Liu, H.** $CsPb_xMn_{1-x}Cl_3$ Perovskite Quantum Dots with High Mn Substitution Ratio // ACS Nano 2017, 11, 2239–2247.
3. **Parobek, D.** Exciton-to-Dopant Energy Transfer in Mn-Doped Cesium Lead Halide Perovskite Nanocrystals // Nano Lett. 2016, 16, 7376–7380.

Р.А. Делян, соиск., ст. преп.;
рук. В.П. Будак, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЛИПСОВ МАКАДАМА

В основу нормирования цветовой однородности излучения заложены исследования МакаДама по цветовым порогам [1], которые получили название по своей форме — эллипсы МакаДама. Эти исследования имеют ограниченное применение, в связи с условиями проведения эксперимента [1], которые не советуют современным реалиям распределения яркостей в поле зрения человека.

Для оценки изменения эллипсов МакаДама были выбраны цветовая модель восприятия CIECAM02 [2], которая рекомендована на данный момент МКО и равноконтрастная модель цветовых ощущений на основе физиологической системы КЗС, разработанной Беляевой и Матвеевым на кафедре Светотехника, МЭИ в 1964 г. [3]. Также был проведен эксперимент. Результаты расчетов и экспериментальных данных при одинаковых условиях наблюдения представлены на Рис. 1, Рис. 2 и Рис. 3.

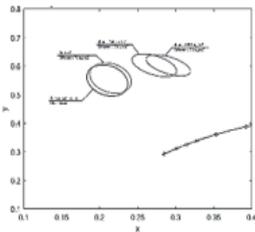


Рис. 1. CIECAM02

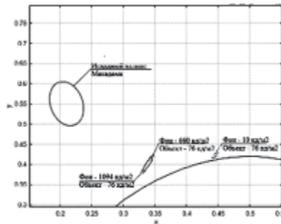


Рис. 2. Модель Беляевой – Матвеева

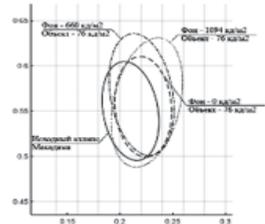


Рис. 3. Экспериментальные данные

Из полученных данных видно, что по результатам эксперимента центры эллипсов МакаДама не перемещаются, в отличие от математических расчетов. Но более близкие результаты получены при моделировании по модели CIECAM02. В дальнейшем, для оценки полученных экспериментальных данных будут рассмотрены результаты модели CIECAM16, которая получила широкое распространение в мире.

Литература

1. **Macadam, David L.** Visual Sensitivities to Color Differences in Daylight // J. Opt. Soc. Am. 1942. Vol. 32, № 5.
2. **M.D. Fairchild**, Color Appearance Models, 2005, 2nd. ed., Wiley, Chichester.
3. **Н.М. Беляева**, Построение равноконтрастной системы для определения цветовых соотношений в архитектурных интерьерах, кандидатская диссертация, 1972 г., Москва.

А.А. Сиутина, студ.;

рук. А.А. Мармалюк, д.т.н. (АО "НИИ "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха",
117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 3 корп. 1)

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В КВАНТОВОЙ ЯМЕ ЛАЗЕРНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Современные лазерные гетероструктуры являются основой для разработки мощных лазерных диодов, широко применяемых в промышленности, медицине и других отраслях. Их популярность объясняется высокой эффективностью преобразования электрической энергии в оптическую, компактностью и надежностью. Однако при высоких значениях выходной мощности, лазерные диоды сталкиваются с проблемами, такими как перегрев зеркал резонатора и риск их катастрофической оптической деградации (КОДЗ). Эти эффекты ограничивают долговечность и максимальную мощность лазеров, что создает потребность в новых подходах к их оптимизации.

Одним из перспективных решений является создание так называемых непоглощающих зеркал, которые значительно снижают поглощение электромагнитного излучения и уменьшают перегрев призеркальной области. Снижение поглощения излучения в призеркальной области возможно обеспечить локальной модификацией зонной диаграммы лазерной гетероструктуры. Для этого необходимо увеличить ширину запрещенной зоны в данной области, что может быть реализовано изменением профиля распределения основных компонентов соединений $A^{III}B^V$ на гетерограницах квантовых ям активной области путем организации локального разупорядочения (перемешивания). Перспективным и весьма технологичным методом реализации такого подхода на практике является нанесение диэлектрических пленок с последующим высокотемпературным отжигом. Это способствует диффузии элементов, размытию границ квантовых ям и увеличению ширины запрещенной зоны.

Целью исследования является изучение возможностей локального управления свойствами квантово-размерных лазерных гетероструктур $AlGaAs/GaAs$. На лазерную гетероструктуру наносился диэлектрический слой толщиной 0,3 мкм. Полученные образцы подвергались быстрому термическому отжигу в диапазоне температур от 500 до 900°C. Затем слой диэлектрика удалялся и изучались излучательные характеристики образцов.

В результате исследования автором будут получены образцы лазерных гетероструктур, в которых будет изменена форма квантовой ямы, что изменит центральную длину волны излучения. Это и будет являться индикатором того, что были получены непоглощающие зеркала лазерного диода, которые значительно снижают влияние КОДЗ.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗБЫТОЧНОГО СВЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В Г. МОСКВА

В настоящий момент проводились исследования по влиянию светового загрязнения на биоту, территории ООПТ, однако, отсутствуют регламентирующие документы для нормирования и снижения воздействия. Для оценки уровня избыточного света (светового загрязнения) было разработано несколько критериев оценки [1].

Замеры проводились на территории парков, дорожных бульваров. В рамках работы исследовались такие параметры, как средняя яркость на всем ночном небе, средняя яркость на высоте 30° над горизонтом, средняя яркость на зенитном расстоянии более 80° и горизонтальная облучённость, особенно рассматриваемая в экологических исследованиях избыточного света.

Для измерения использовался прибор, относящийся к астрономическим исследованиям (SQM-L). Полученные данные представляли собой среднее значение, взвешенное по чувствительности, смещенной от центра в поле зрения прибора.

При расчете показателей использовалась модель Гарстанга – Чинзано распространения света в атмосфере. Получено распределение исследуемых параметров по времени.

Исследованный метод расчета в городе Москва на территории парков, бульваров, особо охраняемых природных территорий представляет интерес в продолжении изучения влияния избыточного света на биоту, направленного на создание рекомендаций и регламентирующих документов для снижения пагубного действия светового загрязнения.

Литература

1. **Falchi F, Bará S.** Computing light pollution indicators for environmental assessment // Nat Sci. 2021;1:e10019. <https://doi.org/10.1002/ntls.1001>

Секция 9

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Industrial electronics

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

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

*А.А. Сизикова, студ.; М.С. Павлова, асп.;
рук. И.П. Воронин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТОРА С КОНДЕНСАТОРНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ И НЕПРЕРЫВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ТОКА В НАГРУЗКУ

DC-DC преобразователи используются в различных сферах в качестве модулей источников питания постоянного тока. Цель их применения — изготовление автономных устройств со стабилизированным выходным напряжением.

В системах бортового питания широкое применение находят однотактные схемы импульсных регуляторов с конденсаторным разделением входных и выходных цепей, автором которых является Поликарпов А.Г. Данные преобразователи являются повышающе-понижающими регуляторами, благодаря чему появляется возможность получать на выходе значение напряжение как больше, так и меньше значения питающего напряжения в более широком диапазоне выходной мощности. В работе исследуется один из вариантов таких устройств с непрерывной передачей энергии в нагрузку, известный в зарубежной литературе как преобразователь “Zeta”.

Особенностью данной схемы является организация потенциальной развязки при помощи такого пассивного компонента электронных схем как конденсатор. Дополнительным преимуществом использования конденсатора является снижение помех на входе и выходе преобразователя.

Преимущество данной схемы заключается в обеспечении стабильного выходного напряжения при непрерывной передаче тока на выход. Это реализуется путем накопления энергии реактивными элементами и ее дальнейшей передачей в цепь нагрузки. Данная схема имеет более низкие значения пульсаций на выходе, по сравнению с другими топологиями DC-DC преобразователей.

Для изучения особенностей работы данной схемы и поиска подходов к решению сложностей была создана модель в среде моделирования Matlab Simulink с комбинированным подходом. Произведены расчёты и дальнейшее сравнение аналитических характеристик с полученной моделью.

Созданная модель позволяет получить основные характеристики данной схемы, а также рассмотреть различные проблемы, которые необходимо учитывать при физическом проектировании данного преобразователя.

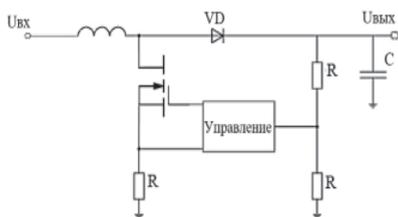
*В.С. Иванов, студ., С.Т. Джаббаров, студ.; Д.С. Кузенёв, асп.;
рук. И.И. Журавлев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, РЕАЛИЗОВАННОЕ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ МІК32 АМУР

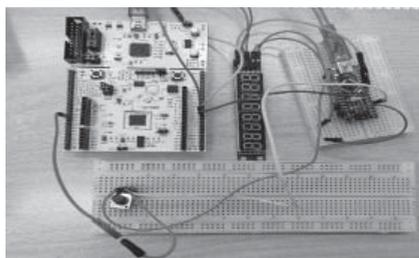
В условиях современности, ввиду требований к промышленной продукции, предъявляемых в целях ее отнесения к российской промышленной продукции [1], существует потребность в реализации систем управления на отечественной компонентной базе. В том числе и для DC-DC преобразователей.

В работе рассмотрен способ реализации системы управления DC-DC преобразователя на базе отечественного микроконтроллера МІК32 АМУР. МІК32 АМУР является флагманским отечественным продуктом в сфере RISC-V микроконтроллеров, доступным для выполнения задач широкого круга потребителей [2]. Реализовано цифровое управление DC-DC преобразователем Рис. 1 (а). Управление осуществляется посредством генерации ШИМ сигнала, и обработки информации с датчика напряжения через АЦП в реальном времени согласно разработанным специально для МІК32 АМУР алгоритмам управления преобразователем.

Работоспособность предложенного в работе решения подтверждена исследованиями на экспериментальной физической модели устройства с применением отладочной платы МІК32 АМУР К1948ВК018 (Рис. 1(б)).



(а)



(б)

Рис. 1. (а) — система управления в составе DC-DC преобразователя
(б) — физический макет системы управления на базе микроконтроллера МІК32 АМУР

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 17 июля 2015 г. N 719** «О подтверждении производства российской промышленной продукции».
2. **Косарева Д.А., Масанов Д.В.** Выбор оптимальных характеристик микропроцессора для создания отечественного аналога / Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина. Сборник научных трудов. Москва, 2024. С. 149–153.

*М.А. Короткий, В.А. Козлов, А.А. Сизикова, студ.; М.С. Павлова асп.;
рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ БЛОКА ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ТОКОВОЙ ПЕТЛЕЙ

На сегодняшний день разработан перспективный подход к построению источников питания на основе токовой петли и многоячейковой структуры [1]. Подобные источники состоят из входной части — это однофазный инвертор, который создает в токовой петле с высоковольтной изоляцией переменный ток. И выходных частей — это управляемые выпрямительные ячейки, которые питаются от токовой петли через трансформаторы тока. Такой подход позволяет упростить конструкцию, изготовление и масштабирование источников в сравнении с другими существующими подходами. Для оптимизации параметров таких источников ставится задача по разработке и оптимизации блока трансформатора тока.

В работе представлена методика расчета трансформаторов тока, первичной обмоткой которых является токовая петля. Можно выделить следующие основные особенности данного расчета:

- 1) Рассмотрены различные формы тока в токовой петле. Выявлено влияние количества управляемых выпрямительных ячеек на форму тока. Показано, что оптимальной, с точки зрения построения систем управления входного и выходных блоков, является треугольная или трапециевидная форма тока. Для получения такой формы в токовую петлю вводится дополнительная индуктивность в виде дросселя.
- 2) Получены зависимости, позволяющие однозначно выбрать оптимальный коэффициент трансформации и амплитуду тока в петле в зависимости выходной мощности ячейки.

Для разработки трансформаторов предложена методика, отличная от стандартных подходов [2]. При расчете учитываются конструктивные особенности первичной обмотки — сечение токовой петли и толщина ее изоляции. Разработка методики проводится на основе аналитических и численно-аналитических расчетов, имитационного моделирования и экспериментального исследования разработанного макета устройства.

Литература

1. **Серегин Д.А., Асташев М.Г., Воронин И.П., Рашитов П.А., Павлова М.С., Мостовой Д.В.** Источник питания с передачей энергии трансформаторами тока. *Электротехника*. 2024. № 6. С. 34–42.
2. **Мелешин. В.И.** Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005. — 632 с.

*С.Т. Джаббаров, студ., В.С. Иванов, студ., Д.С. Кузнев, асп.;
рук. И.И. Журавлев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

DC-DC преобразователи мощностью до 10 Вт являются одним из наиболее широко применяемых классов преобразователей в электронной промышленности. Однако, ввиду меняющихся геополитических событий и условий, большая часть импортных преобразователей стала либо недоступна, либо имеет высокую стоимость. Таким образом в настоящее время является актуальной задача разработки маломощных DC-DC преобразователей с доступной компонентной базой и отечественным программно-аппаратным обеспечением их системы управления.

В ходе исследования по разработке отечественного DC-DC преобразователя был проведён сравнительный анализ технологий российских и зарубежных производителей, проанализированы топологии наиболее востребованных моделей преобразователей [1]. Отмечено, что заложенная в основе зарубежных преобразователей элементная база, может иметь более высокие показатели себестоимости, что подчеркивает актуальность разработки российского DC-DC преобразователя с применением доступной элементной базы. В настоящей работе представлены результаты разработки отечественного DC-DC преобразователя малой мощности с применением в его системе управления отечественного микроконтроллера МК 32 «Амур» [2] (Рисунок 1). Преобразователь обеспечивает широкий диапазон регулирования напряжения, гальваническую развязку, и низкий коэффициент пульсаций на нагрузке, не уступая по подобным параметрам зарубежным аналогам.



Рис. 1. Блок-схема работы преобразователя

Литература

1. **Ретнюк В.** Первый повышающе-понижающий DC/DC-преобразователь компании Texas Instruments индустриального исполнения по технологии HOTROD QFN // Компоненты и технологии. 2016. № 3. С. 33–37.
2. **Косарева Д.А., Масанов Д.В.** Выбор оптимальных характеристик микропроцессора для создания отечественного аналога // Сб. научных трудов каф. автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина. Москва, 2024. С. 149–153.

*А.Д. Коцаренко, студ.; Е.В. Глазунов, асп.
(НИЦ «Курчатовский институт»);
рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ МОДУЛЕЙ ПЛК

Целью данной работы является разработка силового DC/DC преобразователя для питания модулей программируемых логических контроллеров, выходная мощность — 120 Ватт.

В настоящее время программируемые логические контроллеры широко используются в промышленности для управления двигателями, насосами, освещением и другим оборудованием.

В условиях текущей геополитической ситуации в мире, особое внимание уделяется созданию ПЛК на отечественной электронной компонентной базе, с полным циклом производства на территории РФ, а потому, устройство, разрабатываемое мной в данной работе, имеет актуальность и значимость для нашей промышленности.

Ключевым преимуществом данного преобразователя является его цифровая система управления, которая способна обеспечить постоянный контроль за состоянием преобразователя с записью телеметрии в журнал событий, при необходимости позволяет управлять преобразователем удаленно, а также поддерживает включение дополнительного аналогичного преобразователя, с возможностью одновременной их работы на одну нагрузку и резервированием друг друга. Сам преобразователь обеспечивает стабильность, безопасность и непрерывность работы ПЛК: устройство обеспечивает устойчивость к прерываниям напряжения питания постоянного тока на 100% от напряжения нагрузки длительностью до полу секунды без перезагрузки устройства, также обеспечена устойчивость к провалам напряжения питания постоянного тока: на 30% от напряжения нагрузки до уровня 0.7 от напряжения нагрузки длительностью до секунды и на 60% от напряжения нагрузки до уровня 0.4 от напряжения нагрузки длительностью до 20 мс [1].

В результате проведенной работы был спроектирован не только преобразователь, но и его окружение.

Литература

1. **СТО ИНТИ S.90.4-2022.** Программируемые логические контроллеры. Модули ввода-вывода. Общие технические требования.

*А.О. Кондратьева, студ., Е.В. Глазунов, асп.
(НИЦ «Курчатовский институт»);
рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Целью данной работы является разработка силового DC/DC преобразователя, обеспечивающего питание ядер высокопроизводительного процессора мощностью 150 Вт. Актуальность задачи обусловлена широким применением таких процессоров в важных областях: от домашних компьютеров до серверов, промышленных систем автоматизации, оборонной и банковской сфер. Качественное и стабильное питание этих процессоров напрямую влияет на их производительность и надёжность, что делает разработку мощного и гибкого преобразователя важной задачей для поддержания информационной и экономической независимости.

Ключевым преимуществом данного преобразователя является его универсальность: устройство может адаптироваться под различные виды процессоров, автоматически настраивая уровень выходного напряжения. Структура силовой части преобразователя имеет возможность конфигурирования под широкий диапазон мощностей. Также разработана цифровая система управления, которая управляет схемой включения преобразователя, контролирует и управляет уровнем выходного напряжения, считывает значения тока нагрузки, температуры силовых ключей. С помощью данной системы реализовано удаленное управление, телеметрия и запись в журнал состояний преобразователя и нагрузки.

В результате данной работы спроектирован не только преобразователь, но и всё его окружение, рассмотрены различные конфигурации силовой части и управления, приведены требования к составу слоев печатной платы, что делает продукт доступным для разработчиков даже без глубоких знаний в данной области.

Разработка многофункциональной преобразовательной системы с возможностью контроля, измерения и диагностики всех её параметров, является очень важной задачей, как для серийных модулей ответственного применения, так и для исследовательских модулей, на которых производится тестирование новых, разработанных в России процессоров.

Литература

1. **Мелешин В.И., Д.А. Овчинников** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии // Техносфера, 2011.

*С.А. Михайлов, студ.; А.В. Часов, соиск.;
рук. И.И. Журавлев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛА ОСРП ДЛЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ В РАМКАХ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ SCADA СИСТЕМЫ

В настоящее время развитие электротранспорта в Российской Федерации является одним из важнейших направлений для перехода транспортной инфраструктуры РФ на более экологичный, современный и эффективный формат. Однако на данный момент в Российской Федерации не существует единого решения для эффективного управления зарядной инфраструктурой.

Целью работы является разработка концепции работы веб-приложения для SCADA системы (рис.1), работающего в рамках клиент-серверного взаимодействия согласно протоколу ОСРП для зарядных станций [1]. В данной работе представлена структура SCADA системы с применением протокола ОСРП. Выбрана программная библиотека “осрп-грс” в среде разработки клиентских приложений Node.js для взаимодействия программного обеспечения с зарядной инфраструктурой. Для применения библиотеки определена физическая модель зарядной станции для работы с ней в рамках указанного протокола. Для имитации работы зарядной станции разработано программное обеспечение для приёма запросов от клиента по протоколу WebSocket [2], обработки сообщений согласно протоколу ОСРП и отправки ответа клиенту в формате JSON.



Рис. 1. Внешний вид страницы разработанного веб-приложения

Литература

1. **Pruthvi T.V. et al.** Implementation of OCPP protocol for electric vehicle applications // E3S Web of Conferences. — EDP Sciences, 2019. — Т. 87. — С. 01008.
2. **Fette I., Melnikov A.** The websocket protocol // Internet Engineering Task Force (IETF) № 6455 — 2011. — 69 p.

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

СХЕМОТЕХНИКА ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ

Зарядные устройства (ЗУ) являются неотъемлемой частью современной электроники, обеспечивая безопасную и эффективную зарядку различных типов аккумуляторных батарей. Выбор оптимального схемотехнического решения ЗУ определяется множеством факторов, включая тип батареи (Li-ion, NiMH, NiCd, Pb-acid и др.), требуемую мощность, габаритные ограничения, стоимость компонентов, требования к безопасности, а также эффективность и скорость зарядки. Различные типы батарей имеют специфические характеристики зарядки, которые необходимо учитывать при проектировании ЗУ.

Целью работы является всесторонний анализ множества ряда решений зарядных устройств, которые могут отличаться не только принципом действия (например, линейные, импульсные, резонансные, реверсивные), но и уровнем сложности, используемыми компонентами и алгоритмами управления. В рамках работы будут рассмотрены схемы зарядных устройств для различных мощностей, от маломощных (для портативной электроники) до высокомоощных (для электроинструментов или электромобилей), с выделением оптимальных схемотехнических решений для каждой категории. Особое внимание будет уделено выбору компонентов, влияющих на эффективность, габариты и стоимость устройства. Для каждого типа ЗУ будут определены ключевые параметры и проведена оценка их влияния на общую производительность. Полученные результаты анализа различных схемотехнических решений позволят сформулировать рекомендации по выбору оптимальной схемы ЗУ в зависимости от требований к мощности, габаритам, стоимости и безопасности. Эти рекомендации могут быть использованы не только для разработки новых устройств, но и для оптимизации существующих систем зарядки, повышая их эффективность, надежность и срок службы. Важной частью работы является оценка влияния различных компонентов на ключевые параметры ЗУ, таких как пульсации выходного напряжения, потери мощности и уровень электромагнитных помех.

Исследование проведено на основе аналитических расчетов и численного моделирования в среде LTSpice.

А.А. Громков, студент;
рук. М.Г. Асташев, д.т.н. (МЭИ, г. Москва)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ МОЩНОСТЬЮ 10 КВт

Гарантированное электропитание является ключевым требованием для работы критически важных систем, таких как медицинское оборудование, серверные комнаты и промышленные автоматизированные комплексы. Перебои в электроснабжении могут привести к серьёзным сбоям и финансовым потерям. Для решения этой проблемы наилучшим выбором является источник бесперебойного питания (ИБП) с двойным преобразованием (онлайн), который обеспечивает мгновенное переключение на автономный режим работы, а также обладающий возможностью работы как от трёхфазной сети, так и от однофазной.

На рисунке 1 представлена структурная схема онлайн ИБП, которая обязательно включает в себя следующие блоки: выпрямитель с функцией коррекции коэффициента мощности, инвертор напряжения, а также DC-DC преобразователь, выполняющий функцию заряда аккумуляторной батареи (АКБ) и преобразование электроэнергии из АКБ в случае отключения электропитания.

В работе представлены:

- сравнительный анализ различных схемотехнических решений преобразователей электроэнергии для конкретных применений;
- функциональные схемы основных преобразователей электроэнергии;
- аналитический расчет основных преобразователей электроэнергии;
- компьютерные модели рассмотренных схем преобразователей.

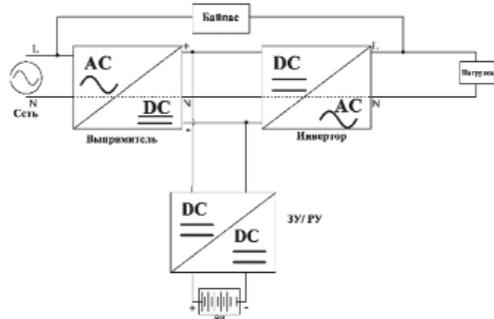


Рис. 1. Структурная схема ИБП

Т.Ф. Абдуллаев, студ.;
рук. А.Н. Рожков, к.т.н. (МЭИ, г. Москва)

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО МОЩНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В современном мире технологии развиваются с невероятной скоростью, и потребность в надёжных и мощных источниках питания постоянно растёт. Многоканальные источники питания становятся всё более востребованными в различных областях, от промышленного оборудования до медицинских приборов.

Многоканальный мощный источник питания представляет собой систему, состоящую из нескольких независимых каналов, каждый из которых обеспечивает стабильное напряжение и ток для конкретного устройства или группы устройств. В основе разрабатываемого источника лежат прямоходовой и полумостовой преобразователи, которые обеспечивают высокую эффективность и надёжность работы.

Оба типа преобразователей имеют свои преимущества и недостатки, поэтому выбор между ними зависит от конкретных требований к источнику питания. Например, прямоходовой преобразователь может быть более простым в реализации, но иметь более низкий КПД по сравнению с полумостовым преобразователем. С другой стороны, полумостовой преобразователь требует более сложной схемы управления, но обеспечивает более высокий КПД и стабильность работы.

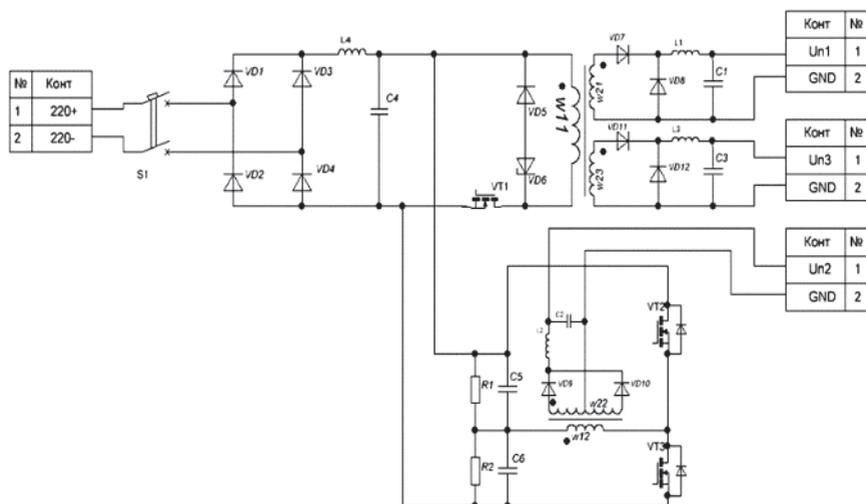


Рис. 1. Структурная схема силовой части источника

*М.С. Волонин, А.Д. Матвеева,
Р.Р. Ибрагимов, В.А. Козлов, студенты;
рук. М.Г. Асташев, д.т.н. (МЭИ, г. Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ КАСКАДОВ ПОВЫШАЮЩЕ-ПОНИЖАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ С ДВУХПОЛЯРНЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

На сегодняшний день солнечная энергетика развивается стремительными темпами, охватывая всё больше областей применения. Одним из популярных решений является установка солнечных панелей для бытового использования в частных домах. Для таких целей необходимо преобразование электроэнергии, генерируемой солнечной батареей, в электроэнергию переменного напряжения с параметрами бытовой сети 230 В и 50 Гц. Однако одной из проблем, с которыми сталкиваются разработчики преобразовательных устройств для солнечной энергетике, является широкий диапазон изменения выходного напряжения солнечной батареи в зависимости от таких внешних факторов, как интенсивность солнечного света и температура.

В случаях, когда нижняя граница напряжения солнечной батареи значительно меньше амплитудного напряжения сети, наиболее целесообразным является использование двухкаскадной структуры. При этом инвертор работает от стабилизированного выходного напряжения преобразователя постоянного напряжения (ППН), передавая в бытовую сеть ток, синфазный с сетевым напряжением. ППН обеспечивает стабилизацию входного напряжения инвертора на уровне, превышающем амплитудное напряжение сети, например, 360÷400 В.

На основе представленной структуры к ППН предъявляются следующие требования:

- работа в широком диапазоне входных напряжений;
- формирование двухполярного выходного напряжения при работе на симметричную нагрузку;
- возможность работы в повышающе-понижающем режиме;
- отсутствие необходимости в гальванической развязке.

Учитывая вышеуказанные пункты, можно выделить класс ППН, удовлетворяющий всем перечисленным требованиям. В работе будут рассмотрены как уже известные схемотехнические решения, так и авторские разработки силовых транзисторных каскадов.

*А.С. Федулова, соиск., Я.А. Федулов, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске);
рук. А.С. Войцицкий, Инженер-конструктор
ФГУП «СПО «Аналитприбор»*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОПОВЕЩЕНИЯ О НАЛИЧИИ РАДИАЦИИ

Актуальными разработками являются системы оповещения, в которых используются датчики, предоставляющие информацию о климате, наличии газов, состоянии человека и могут предупредить об аварийных ситуациях [1]. Работа датчиков угарного газа, радиационного фона и других опасных факторов играет важную роль в предотвращении чрезвычайных ситуаций и охране здоровья людей. Их информационное обеспечение помогает быстро реагировать на опасность и принимать необходимые меры для защиты [2].

Настоящая работа посвящена моделированию системы, отслеживающей радиационный фон с помощью недорогостоящих элементов и сопровождающую звуковым сигналом об минимально-критической дозировке радиации. Разработана модель, функциональная, структурная схема устройства. Основными элементами устройства являются опытный образец устройства Гейгера-Мюллера M4011, микроконтроллер Atmel ATSAM3X83, пьезоэлектрический излучатель. Анализ радиационного фона осуществляется электрически-цифровым модулем путем сбора сигналов с счетчика Гейгера, передающий импульсы на микроконтроллер для определения уровня радиационной дозы. Принцип работы счетчика реализован в электронном модуле Radiationd miller tube gm tube в вакуумной трубке.

Проектирование и реализация схемы функционирования устройства позволило создать опытный образец надежного, эффективного и современного устройства, способное эффективно выполнять обнаружение и оповещение об излучении опасного воздействия на человека. Обеспечивается работа чувствительного элемента трубка Гейгера-Мюллера M4011, радиусом измерений не менее 0.02 м и быстродействием отклика устройства не более 1 с.

Литература

1. **Беспалов В.И.** Радиационная защита. — Москва: Юрайт, 2024. — С. 507 URL: <https://urait.ru/bcode/544205> (дата обращения: 10.09.2024).
2. **Виноградов Ю.А.** Ионизирующая радиация: обнаружение, контроль, защита. — М.: Солон-Пресс, 2015. — С. 224. URL: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN5934551388.html> (дата обращения: 21.10.2024).

М.П. Рожнов студ.; рук. И.П. Воронин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время разработчики источников вторичного электропитания проявляют повышенный интерес к однотактным преобразователям напряжения, который обусловлен такими их достоинствами, как отсутствие схем симметрирования работы трансформаторов, малое количество ключей, простота схем управления.

Одним из представителей однотактных преобразователей напряжения является «DC-DC обратноходовой преобразователь». Для него характерна работа «трансформатора» на несимметричном частотном цикле петли гистерезиса с накоплением магнитного потока и наличие емкостного фильтра. Из-за наличия индуктивностей рассеяния при выключении транзистора преобразователя на его коллекторе возможно появление перенапряжений, способных вывести транзистор из строя.

В работе представлены способы борьбы с перенапряжениями на транзисторе и методы их расчета. Можно выделить два основных способа:

- 1) Введение в схему преобразователя дополнительного маломощного трансформатора. При закрытии транзистора ток дросселя рекуперирован в источник входного напряжения, а затем спадает к нулю. При необходимости рекуперация может осуществляться и в цепь нагрузки.
- 2) Переход к новым принципам коммутации, при использовании индуктивности рассеяния в качестве полезного компонента. Индуктивность рассеяния при этом вступает в резонанс либо с емкостью транзистора, либо с емкостями первичной или вторичной обмотки трансформатора, вследствие чего, достигается переключение транзистора практически без динамических потерь и появляется возможность увеличения частоты работы преобразователя.

Литература

1. «Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА». Поликарпов А.Г. Сергиенко Е.Ф.
2. «Транзисторная преобразовательная техника». Мелешин В.И. — М.: Техносфера, 2005.

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

АЛГОРИТМ ДВУХКОНТУРНОГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕДОМЫМ ИНВЕРТОРОМ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ СИГНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Упрощённый алгоритм цифрового управления, содержащий блок прогнозирования сигналов обратной связи, на сегодняшний день, применим в автономных инверторах [1]. Данный алгоритм позволяет исключить отставание при управлении, связанное с дискретностью цифровой системы. Реализация подобного типа управления возможна и для такого класса преобразователей как инверторы, ведомые сетью.

В работе представлено математическое описание оригинального алгоритма управления инвертором напряжения, выполненного по однофазной мостовой схеме, а также результаты компьютерного моделирования в системе Matlab Simulink. Основной задачей можно выделить построение точной и простой математической модели, в которой бы учитывалась индуктивность сети L_{line} [2]. Её наличие приводит возникновению цепи третьего порядка совместно с Γ -образным LC-фильтром, то есть к появлению решений в виде функций, вычисление которых занимает значительное процессорное время микроконтроллера.

При построении имитационной модели был произведён учёт реальных параметров преобразователя и её цифровой системы управления: неидеальность ключевых приборов и накопителей энергии; наличие аналоговых фильтров на выходе датчиков тока и напряжения, влияющих на частотные характеристики системы управления, а также временные задержки измерения самих датчиков.

Литература

1. Д.А. Серегин, М.И. Федорова, М.С. Павлова, В.А. Козлов, А.А. Сизикова. Алгоритм двухконтурного цифрового управления инвертором с прогнозированием сигналов обратной связи. Практическая силовая электроника. 2024. № 4(96). С. 20–25.
2. Tao Y., Tan C., Chen Q., Zhang L., Zhou K., Liu L. Deadbeat Repetitive Control for a Grid-Connected Inverter with LCL Filter / Proceedings of the 2019 IEEE 15th International Conference on Control and Automation (ICCA). Edinburgh, Scotland, 16–19 July 2019. IEEE, 2019. С. 573–577.

П.Ю. Битюков, студ.;
рук. И.П. Воронин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С Т-ОБРАЗНЫМ МОСТОМ

В настоящее время известна схема двухуровневого инвертора и трехуровневого инвертора с фиксированной нейтралью Т-типа. Разница между ними заключается в том, что двухуровневый инвертор попеременно подключает клеммы переменного тока либо к положительному уровню постоянного напряжения, либо к отрицательному уровню постоянного напряжения [1]. Однако данная топология характеризуется высоким коэффициентом нелинейных искажений. Трехуровневый инвертор Т-типа содержит нейтраль. Нейтраль расположена между положительным и отрицательным уровнем постоянного напряжения, формируя третий уровень, что значительно приближает результат к желаемому.

Т-образные трехуровневые инверторы находят широкое применение в современных системах преобразования электроэнергии благодаря способности обеспечивать высокое качество выходного напряжения. Такие инверторы актуальны в сфере возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые электростанции, где требуется минимизация гармонических искажений на выходе.

Существенным недостатком данных топологий является повышенное падение напряжения на основных транзисторах схемы.

Объектом исследования в данной работе является Т-образный трехуровневый инвертор напряжения.

Целью работы является сокращение потерь в полупроводниковых ключах схемы и повышение частоты коммутации.

В качестве решения этой проблемы в работе рассмотрен вариант реализации на основе Т-образного моста с фиксированной нейтралью двухуровневого инвертора, где дополнительные полупроводниковые ключи используются для формирования резонансного режима работы.

Литература

1. SEMIKRON Application AN-11001 — 3L NPC TNPC Topology EN 2015-10-12 Rev-05

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

Моделирование и симуляция являются ключевыми инструментами в разработке и оптимизации устройств силовой электроники. Современные методы моделирования позволяют точно предсказать поведение электрических цепей и компонентов, что значительно упрощает процесс проектирования и настройки [1].

В рамках данного исследования было использовано программное обеспечение для симуляции, такое как LTspice для проектирования резонансного LLC DC-DC преобразователя (рис. 1). Моделирование позволило точно настроить параметры резонансного контура, такие как индуктивность и емкость, а также оптимизировать частоту переключения для достижения максимальной эффективности.

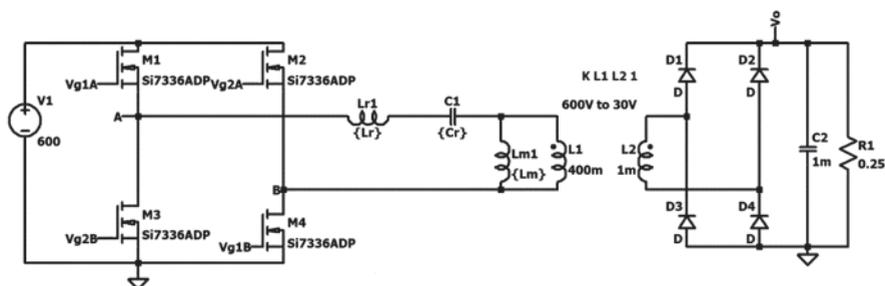


Рис. 1. Схема LLCпреобразователя в среде LTspice

Результаты моделирования показали, что удалось спроектировать резонансный LLC DC-DC преобразователь, который обеспечивает мягкое переключение транзисторов, что приводит к нулевым динамическим потерям. Данный преобразователь удовлетворяет заданным входным и выходным параметрам, обеспечивая стабильную работу при различных условиях нагрузки [2].

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.

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

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ КАНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОБРАТНОХОДОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

В источниках питания собственных нужд (ИПСН) зачастую применяют обратноходовые преобразователи (или flyback converter) с большим количеством вторичных обмоток для формирования нескольких выходных напряжений и обеспечения потенциальной развязки (рисунок 1).

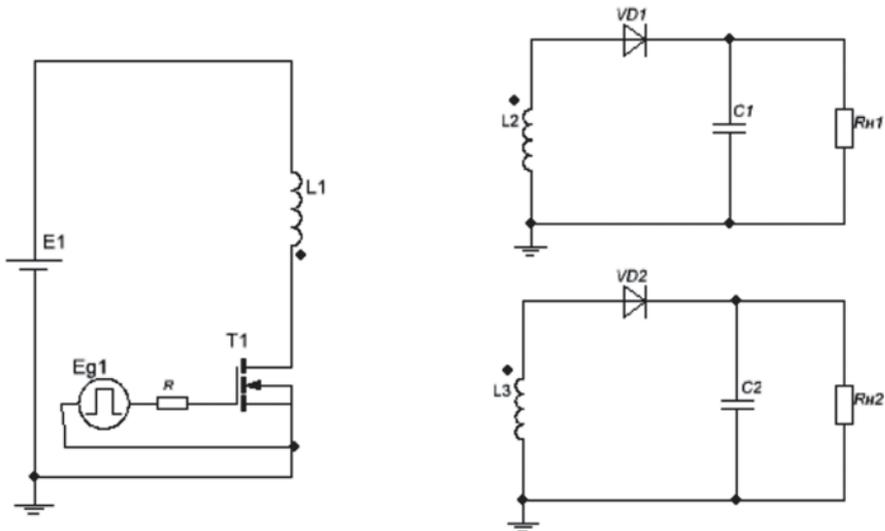


Рис. 1. Схема многоканального обратноходового преобразователя

В данных преобразователях обратная связь обеспечивается на одном из каналов. Это приводит к тому, что напряжение на выходе, по которому сделана обратная связь, будет стабильно, однако оно будет влиять на выходные напряжения других каналов.

В работе приведены аналитические расчеты элементов преобразователя при различных нагрузках.

Проведена верификация аналитических результатов с помощью среды LTspice.

Определены ограничения по применению многоканальных схем в зависимости от нагрузок на каналах.

Е.А. Михайлова, студ.;
рук. А.А. Белицкий, к.т.н, доц. (СПГУ, Санкт-Петербург)

СХЕМОТЕХНИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА. АНЕМОМЕТР

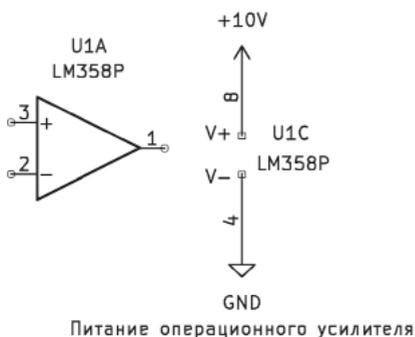


Рис. 1. LM358P

элемента, который нагревается протекающим через него током и охлаждается окружающим воздухом тем сильнее, чем быстрее воздушный поток.

LM358P — двухканальный операционный усилитель с однополярным питанием 3В...32В. Данная микросхема состоит из двух независимых операционных усилителей с высоким коэффициентом усиления и частотной коррекцией, которые предназначены для работы от однополярного питания с широким диапазоном напряжений. В разработанной схеме вторая часть операционного усилителя не используется (пины 5, 6, 7).

«Создание упрощённой версии анемометра для измерения потока воздуха. В первую очередь необходимо собрать первичный преобразователь (датчик) на основе знаний работы операционного усилителя (конкретно в этой схеме был использован экономически выгодный LM358P)».

Эта самодельная конструкция представляет собой простой, но функциональный анемометр с использованием чувствительного элемента.

Работа его основана на изменении сопротивления чувствительного эле-

Литература

1. М.Х. Джонс Электроника — практический курс. ПОСТМАРКЕТ МОСКВА, 1999.
2. Хоровиц П., Хилл У Искусство схемотехники. Том 1. Мир, 1993.

Е.А. Рябова, студ.; рук. А.Н. Рожков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ I РОДА

В условиях стремительного развития технологий и необходимости повышения эффективности производственных процессов растет потребность в наличии надежных систем вторичного электропитания. Актуальность вопроса точности и надежности преобразователей I рода обусловлена их широким внедрением в состав таких систем [1].

В данной работе рассматриваются различные способы построения систем управления преобразователем I рода, которые обеспечивают разные степени надежности системы. За основу взята базовая схема понижающего преобразователя напряжения I рода, которая приведена на рис. 1 [2].

Компьютерное моделирование преобразователя и рассматриваемых вариантов построения систем управления реализуется в программном пакете Matlab Simulink. В исследовании приводится сравнительный анализ характеристик систем управления с точки зрения устойчивости, точности выходных параметров преобразователя, а также энергетической эффективности. Результаты работы в дальнейшем могут быть использованы для выбора оптимального способа построения системы управления в зависимости от требований к ее характеристикам.

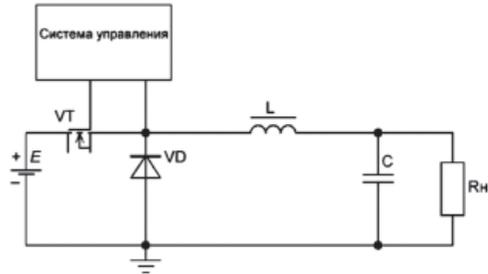


Рис. 1. Принципиальная схема понижающего преобразователя напряжения I рода

Литература

1. Андрянов А.И. Система управления нелинейными динамическими процессами непосредственного преобразователя напряжения I рода // Доклады ТУСУР. 2020. Т. 23. № 3.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005.

Д.Д. Лыков, студ.; рук. Д.А. Серёгин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦИИ

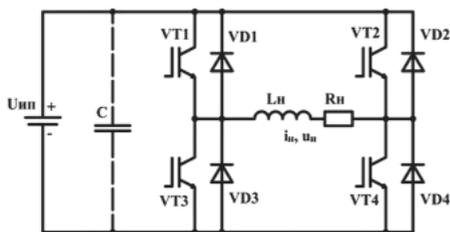


Рис. 1. Схема мостового АИН с однофазной нагрузкой

Управление автономными инверторами напряжения (АИН) играет одну из ключевых ролей в современной промышленной электронике ввиду их повсеместного использования и относительной простоты схемотехники и производства. Поэтому в данном докладе рассматриваются вопросы эффективности различных методов управления этими устройствами.

Существует множество видов управления: широтно-импульсная модуляция (ШИМ), кодо-импульсная модуляция (КИМ) и многие другие. Эффективность тех или иных методов ШИМ и КИМ несущественно различается при большом количестве импульсов управления на периоде модуляции, но с ростом частоты модулирующего сигнала всё больше проявляются различия между ними. Рассматриваемые методы управления будут сравниваться по эффективности как с точки зрения чистоты полученного сигнала, так и с точки зрения построения их схемотехники.

В качестве базовых силовых схем выбраны мостовой и полумостовой АИН (схема мостового преобразователя приведена на рис.1), сведения о которых были взяты из [2]. Будут рассмотрены применения разных видов управления, описанных в пособии [1], и проведён анализ эффективности этих методов на каждой схеме.

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Попков О.З.** Основы преобразовательной техники. Москва, Издательский дом МЭИ, 2010.

*В.А. Мищенко, студент;
рук. А.Б. Лоскутов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ГИБРИДНОГО АККУМУЛЯТОРНОГО БЛОКА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В современном мире электромобили всё глубже интегрируются в городские среды многих стран, при этом существует проблемы, из-за которых автомобили на двигателе внутреннего сгорания (ДВС) до сих пор остаются в приоритете у большинства.

Одной из таких проблем является время автономной работы электромобиля, зависящее от мощности электродвигателя и общей ёмкости аккумуляторных ячеек. При этом увеличение ёмкости приводит к увеличенному времени заряда от сети, что ещё больше ограничивает мобильность электромобиля, а увеличение зарядного тока негативно влияет на ёмкостные свойства аккумулятора.

Целью данной работы является создание зарядного устройства гибридного аккумуляторного блока на основе литий-ионного (Li-Ion) аккумулятора и блока ионисторов. Возможность быстрого накопления ионистором значительного заряда позволяет использовать его в качестве дополнительного источника энергии для основного литий-ионного аккумулятора, гарантируя её полный заряд и уменьшая общее время заряда электромобиля от сети при её преждевременном отключении (рис. 1).

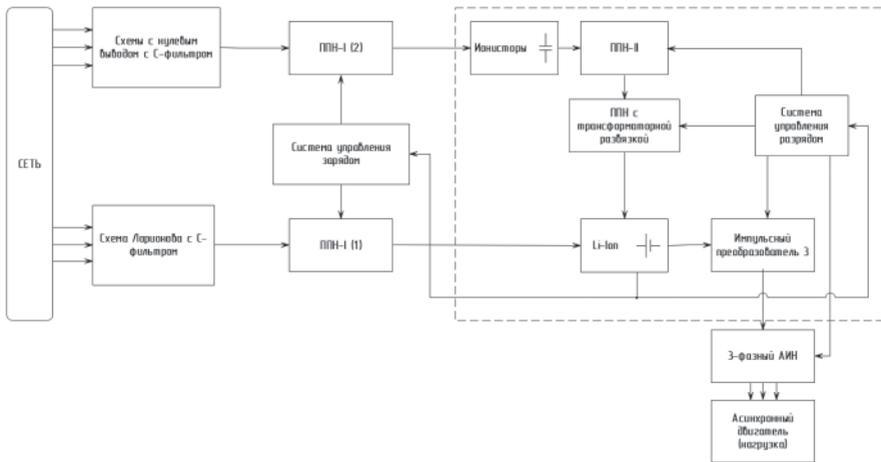


Рис. 1. Блок схема разработанного зарядного устройства

В работе описаны принцип работы итогового преобразователя с учётом перепадов напряжения сети, аналитические расчёты, а также приведены временные диаграммы, поясняющие работу схемы.

*В.В. Долгушев, Л.В. Антипов студенты;
рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ КОРРЕКТОРОВ КОЭФФИЦЕНТОВ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ

Коэффициент мощности неотъемлемый параметр электрических систем, который определяет эффективность передачи энергии от источника к нагрузке. Уменьшение коэффициента мощности приводит к увеличению потерь в сети, снижению эффективности работы оборудования и необходимости в более мощных источниках питания [1]. Для устранения этих проблем используются корректоры коэффициента мощности, обеспечивающие приближение к единичному значению коэффициента мощности.

В контексте современных требований к энергоэффективности возникает необходимость разработки унифицированных решений, которые могут быть адаптированы как для однофазных, так и для трехфазных систем. Использование унифицированного подхода обеспечивает плавный переход от реализации корректоров коэффициента мощности для однофазной сети к трехфазной сети, отвечая требованиям как бытовых, так и промышленных потребителей.

Унификация архитектуры корректоров коэффициента мощности достигается использованием полумостов в качестве базовых строительных блоков [2]. Для однофазной сети применяется один полумост, а для трехфазной сети добавляются еще два, что позволяет легко масштабировать систему без значительных изменений в конструкции. Это сокращает затраты на разработку и тестирование.

Разработка унифицированных корректоров коэффициента мощности для однофазных и трехфазных сетей представляет собой перспективное направление, способствующее улучшению энергоэффективности и гибкости электрических систем. Будущая работа будет сосредоточена на создании универсальной архитектуры, базирующейся на модульном подходе, который позволит масштабировать решения от однофазных к трехфазным системам с минимальными изменениями в конструкции.

Литература

1. **Забродин С.Ю.** Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1982.
2. **Мелешин. В.И.** Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера.

*И.А. Чердинцев, студент; А.В. Бадалян, А.М. Эльхоли, асп.;
рук. А.Н. Рожков, к.т.н., доц.*

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ С СТАЦИОНАРНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Российский рынок показывает существенное отставание от мирового рынка по переходу на электромобили [1]. Одна из причин — неуверенность автовладельцев в доступности зарядных станций и малым запасом хода.

Система зарядных станций, использующих стационарные накопители энергии, является перспективным решением, особенно для мест, где отсутствует доступ к электроэнергетике на удаленных участках магистралей. Актуальной задачей является определение оптимального расположения таких станций на всей протяженности магистрали.

В работе предложено одно из решений данного вопроса, которое предполагает использование имитационного моделирования.

На рисунке 1 представлен интерфейс программы, разработанной в среде MATLAB и предназначенной для моделирования поведения водителей электромобилей, движущихся по магистрали от одного конца до другого. С помощью данного интерфейса (рис. 1) можно задать параметры эталонного электромобиля, а также количество электромобилей.

В результате работы программы формируется зависимость распределения потребления энергии от порядкового номера зарядной станции. Этот результат позволит оценить эффективность системы зарядных станций.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и исследование методов и способов усиления мощности «быстрых» зарядных станций электромобилей с помощью накопителей электроэнергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

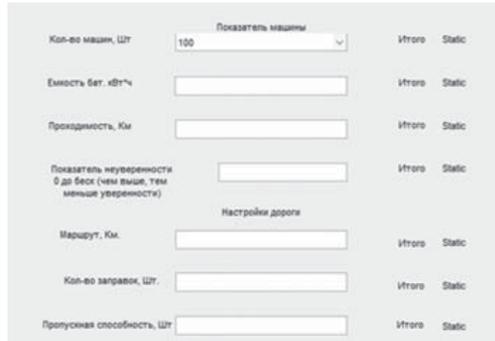


Рис. 1. Интерфейс программы

Литература

1. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России / Д.В. Санатов и др. — СПб.: Политех-пресс, 2021.

Е.А. Твердохлебов, студ.; рук. А.А. Анисимова, асс. (НИУ «МЭИ»)

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В современной силовой электронике система управления имеет большую важность. В настоящее время системы управления делятся на три категории: аналоговые, цифровые и смешанные. Каждая из вариаций имеет свои преимущества и недостатки. По этой причине у инженера при проектировании возникает проблема выбора исполнения управления. К примеру, аналоговые СУ отличаются низкой стоимостью, быстродействием и точной передачей реального сигнала, однако подвержены внешнему физическому воздействию, и обладают малой универсальностью. В случае с цифровыми системами управления отмечается возможность изменения логики при перепрошивке контроллера, управление несколькими блоками от одного микроконтроллера, но отличается высокой стоимостью, плохой ремонтопригодностью, велика вероятность программного сбоя.

В качестве решения данной проблемы предлагается комбинировать преимущества как аналогового, так и цифрового исполнения системы управления. В данном случае аналоговая часть решает задачу управления токами, напряжением, их стабилизацию, выравнивает выходные параметры и выполняет защитные функции, в то время как через цифровую часть осуществляется обработка, вычисление и передача сигналов в схеме. Такой вариант построения логики позволяет получить на выходе универсальную систему с повышенной эффективностью, обладающей быстродействием, точностью передачи сигнала и оптимальной стоимостью [1].

В работе был проведен анализ работы совмещенной системы управления на схеме повышающего DC-DC преобразователя, выявлены определенные преимущества и недостатки такого исполнения. Одной из особенностей является использование АЦП для реализации связи между аналоговой и цифровой частями системы.

Литература

1. **Мелешин В.И., Овчинников Д.А.** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. М.: Техносфера, 2011. — С. 23–26, 412.

Секция 10

ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Electronics and nanoelectronics

Председатель секции: к.т.н., доцент Зезин Денис Анатольевич

Секретарь секции: к.т.н., доцент Баринов Алексей Дмитриевич

К.С. Макарук, асп.; рук. И.Н. Мирошникова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ PbS

Сульфид свинца (PbS) является узкозонным полупроводниковым материалом с шириной запрещенной зоны порядка 0,4 эВ [1], который востребован в качестве фотоприемных устройств в оптико-электронных системах (ОЭС), работающих в ИК-области спектра от 1 до 3 мкм.

Гидрохимический метод осаждения поликристаллических структур PbS является одним из самых востребованных, поскольку он позволяет достаточно просто получать структуры с различными фотоэлектрическими параметрами, морфологией и составом [2]. Так изменение температуры реакционной ванны, времени осаждения [3], добавление прекурсоров с различной физико-химической природой [4] дают возможности для варьирования параметров под различные ОЭС.

Объектом исследования являются две группы пленок PbS, полученные гидрохимическим методом осаждения с добавлением в реакционную ванну дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) и йодида аммония (NH_4I) в различном молярном содержании.

Работа посвящена исследованию влияния состава реакционной ванны на параметры фоторезисторов на основе сульфида свинца.

Литература

1. **Аксененко М.Д., Красовский Е.А.** Фоторезисторы. М.: Советское радио, 1973, 56 с.
2. **Rajathi S.** Structural, morphological, optical, and photoluminescence properties of nanocrystalline PbS thin films grown by chemical bath deposition / S. Rajathi, K. Kirubavathi, K. Selvaraju // *Arabian Journal of Chemistry*. — 2017. — V. 10. — N.8. — P. 1167–1174. doi: 10.1016/j.arabjc.2014.11.057
3. **Abbas М.М.** Effect of temperature and deposition time on the optical properties of chemically deposited nanostructure PbS thin films / М.М. Abbas, А.А.-М. Shehab, N-А. Hassan, А.-К. Al-Samuraee // *Thin Solid Films*. — 2011. — V. 519. — N. 15. — P. 4917–4922. doi: 10.1016/j.tsf.2011.01.053
4. **Маскаева Л.Н.** Влияние комбинированной добавки $KMnO_4$ и NH_4I на фоточувствительные свойства пленок PbS / Л.Н. Маскаева, А.В. Бельцева, О.С. Ельцов, И.В. Бакланова, И.А. Михайлов, В.Ф. Марков // *Оптика и спектроскопия*. — 2023. — Т. 131. — Вып. 10. — С. 1380–1389.

*С.А. Хохлун, студ.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ LTCC

Технология Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) позволяет обжигать керамику при относительно низких температурах (около 850°C), что даёт возможность использовать проводящие пасты на основе серебра и золота, в отличие от High Temperature Co-fired Ceramic (HTCC), требующей высоких температур и взрывоопасных сред. Состав LTCC включает стеклокерамику (Al_2O_3), связующие и функциональные добавки, обеспечивающие высокую адгезию и качественную изоляцию [1–3].

В микроэлектронике низкотемпературная керамика используется для создания вакуумплотных корпусов [3], СВЧ устройств, многослойных схем и компонентов, требующих точного контроля размеров и свойств. Это обусловлено низкой диэлектрической проницаемостью материала, а также его высокой радиационной и химической стойкостью. Не маловажным является качество поверхности керамики для возможности последующего нанесения слоев металлизации и степень усадки образцов после отжига.

Целью работы является исследование влияния технологических режимов на усадку и смачиваемость LTCC.

В ходе оценки влияния технологических режимов прессования и плазменной обработки на, соответственно, усадку и гидрофильность LTCC были построены математические модели. Прессование проводилось при давлениях 21–70 МПа и температурах 60–80°C. Установлено, что давление оказывает большее влияние на усадку керамики, чем температура.

Исследования показали, что плазменная обработка реактивными ионами в аргон-кислородной среде (до 30% кислорода) увеличивает гидрофильность поверхности, облегчая нанесение покрытий.

Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение геометрических размеров и гидрофильности LTCC. Планируется дальнейший рентгеноструктурный анализ и моделирование влияния режимов обработки образцов LTCC на их структуру.

Литература

1. **Хохлун С.А., Сидоров А.И., Сидорова С.В.** Влияние технологических режимов на характеристики изделий на основе LTCC [Электронный ресурс] // Вестник РВО. — 2024. — № 2(4).
2. **King A.G.** Ceramic Technology and Processing. — William Andrew Publishing, 2002. — 512 p.
3. **Hilton A., Temple D.S.** Wafer-level vacuum packaging of smart sensors // Sensors. — 2016. — Т. 16. — № 11. — С. 1819.

А.А. Афанасьев, асп., Д.В. Березницкий, студ.;
рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ«МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАФНИЯ В СТРУКТУРНОЙ СЕТКЕ АЛМАЗОПОДОБНЫХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК

Алмазоподобные плёнки обладают рядом выдающихся качеств. Высокой прочностью, твёрдостью, низким коэффициентом трения, высоким электрическим сопротивлением, био- и гемо-совместимостью. Но в предшествующих работах рассматривались именно механические, биофизические или электрические свойства. Исследованиям в области оптики уделялось мало внимания. Это позволяет начать работу над новыми методами управления свойствами исследуемых материалов в новой области.

Технологические параметры изготовления плёнок имеют непосредственное влияние на их физические свойства. Исследовалось влияние прекурсора [1], давления аргона, рабочей температуры, внедрения атомов различных металлов в структурную сетку [2]. До сих пор не было известно, как эти технологические параметры повлияют на способность исследуемых плёнок пропускать, отражать и поглощать свет в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Таким образом, целью данной работы является исследование зависимости и оценка эффективности управления оптическими параметрами плёнок посредством варьирования атомных процентов гафния в структурной сетке синтезируемого в вакуумной камере при плазмохимическом разложении молекул кремнийорганического прекурсора полифенилметилсилоксана (ПФМС) материале.

В докладе обсуждаются результаты исследования влияния содержания гафния в синтезируемых плёнках на их оптические свойства.

Литература

1. **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.
2. **Пресняков М.Ю.** Структура и термостабильность плёнок металлосодержащих кремний-углеродных нанокомпозитов: дис. к.т.н.: 01.04.10. М. 2014. — 168 с.

А.А. Афанасьев, асп., Д.В. Березницкий, студ.;
рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ«МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ГАФНИЙСОДЕРЖАЩИХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Алмазоподобные плёнки обладают рядом полезных характеристик и существенных недостатков. Среди недостатков выделяют слабую адгезию, низкую температурную стабильность и тяжесть в управлении их физическими свойствами. Но большая часть недостатков нивелируется введением в структурную сетку атомов кремния. Среди сильных сторон находится высокая прочность и твёрдость, гладкость поверхности, способность варьировать электрическое сопротивление в большом диапазоне.

Серьёзное влияние на физические характеристики синтезируемых плёнок оказывают технологические параметры их изготовления и последующей обработки. В предшествующих работах изучалось влияние давления аргона, рабочей температуры, прекурсора [1], внедрения атомов различных металлов в структурную сетку [2]. Изучались преимущественно механические и электрические свойства, уделяя внимание оптическим. Кроме того, в работах не уделялось внимание такому важному технологическому параметру обработки синтезируемых материалов после изготовления, как отжиг. Прошлые исследования проходили после предварительного длительного (6–8 часов) отжига исследуемых материалов. Но нигде не понимался вопрос влияния самого отжига на оптические свойства. Таким образом, целью данной работы является исследование зависимости и оценка эффективности управления оптическими параметрами плёнок посредством варьирования времени предварительного отжига плёнок произведённых в вакуумной камере при плазмохимическом разложении молекул кремнийорганического прекурсора полифенилметилсилоксана (ПФМС).

В докладе обсуждаются результаты исследования влияния отжига и концентрации гафния на оптические свойства синтезируемых материалов.

Литература

1. **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.
2. **Пресняков М.Ю.** Структура и термостабильность плёнок металлосодержащих кремний-углеродных нанокомпозитов: дис. к.т.н.: 01.04.10. М. 2014. — 168 с.

*А.А. Фельде, студ.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ТЕСТИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Датчики температуры находят применение во многих областях: медицина, промышленность, быт, спорт и др. В настоящее время особое значение приобретают датчики на основе сегнетоэлектриков. Предложена структура чувствительного элемента (ЧЭ) датчика температуры, состоящего из эластомера с частицами титаната бария и электродами, расположенными с противоположных сторон эластомера, для снятия показаний [1]. Использование эластомера в качестве основы ЧЭ повышает площадь контакта между датчиком и измеряемой поверхностью.

Для отработки технологии изготовления (ионная и плазменная обработки, магнетронное распыление), такого чувствительного элемента необходим экспериментальный стенд, позволяющий регулировать температуру образца, измеряя показания емкости [2].

Целью работы является разработка стенда для тестирования ЧЭ сегнетоэлектрического эластичного датчика температуры.

Наиболее подходящим решением является использование в таком стенде элементов Пельтье. Разработана электрическая схема стенда, включающая в себя элемент Пельтье, транзистор, радиатор с вентилятором для отвода тепла с горячей стороны элемента, кнопки для управления температурой, дисплей с показаниями температуры, термодатчик, резисторы, блок питания на 12 В. Программирование и управление осуществляется через контроллер Arduino Uno.

Спроектирован корпус тестировочного стенда температуры с учетом удобного размещения компонентов и вывода проводов, а также его компактного исполнения. Предусмотрена регулировка высоты расположения радиатора для удобства использования каскада из элементов Пельтье. Элементы распаяны на макетной плате.

Разработанный стенд используется в совокупности с LCR-станцией для измерения емкости в процессе изменения температуры. Проводятся тестирования серии ЧЭ.

Литература

1. **Фельде А.А., Сидорова С.В.** Исследование характеристик чувствительного элемента эластичного датчика температуры. М: МГТУ, 2024, С. 279.
2. **Фельде А.А., Мальцев В.С., Сидорова С.В.** Влияние ионно-плазменной обработки на характеристики эластичного сегнетоэлектрического датчика температуры. Вакуумная техника, материалы и технология, 2024, С. 75.

*К.А. Рукавишников, студ., А.И. Власов, к.т.н.;
рук. К.В. Селиванов, к.т.н., доц. (МГТУ, Москва)*

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

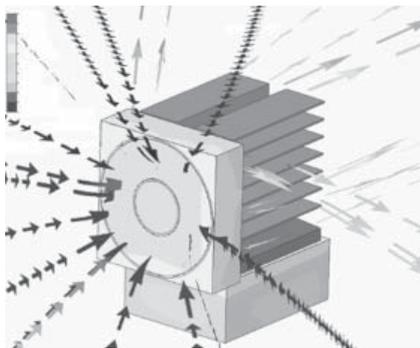


Рис. 1. Модель в среде FloEFD

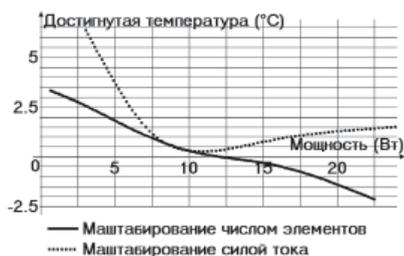


Рис. 2. Сравнение эффективности способов масштабирования

ных объемов (рис. 1) были вычислены зависимости эффективности охлаждающей системы от параметров конструкции, предложен способ масштабирования (рис. 2), повышающий КПД системы охлаждения. Результаты моделирования были подтверждены экспериментами. Представленные результаты позволят улучшить показатели эффективности устройств подобного типа.

Развитие микроэлектроники и технологии полупроводниковых приборов движется в сторону повышения степени интеграции и микроминиатюризации, однако следствием этого является появление проблемы рассеивания тепла [1]. В данной ситуации системы охлаждения на термоэлектрических элементах имеют ряд преимуществ перед традиционными компрессионными и абсорбционными системами. Термоэлектрические тепловые насосы имеют малые габаритные размеры, практически неограниченный ресурс работы, высокую надежность и выигрывают по удельному тепловому потоку [2].

Одним из главных недостатком термоэлектрических элементов является существенно меньшая энергетическая эффективность [3]. Целью работы является расчет наиболее выгодного способа масштабирования мощности термоэлектрической системы охлаждения для заданных параметров рабочей камеры прибора.

В ходе исследования методом конечных

Литература

1. **Васильев Е.Н., Дервянко В.А.** Анализ эффективности применения термоэлектрических модулей в системах охлаждения радиоэлементов // САЖ. 2013. № 4 (50).
2. **Анатычук Л.И.** Термоэлементы и термоэлектрические устройства: справочник. К.: Наукова думка, 1979.
3. **Каганов М.А.** Термоэлектрические тепловые насосы. Л.: Энергия, 1970.

*Д.А. Гнеушев, И.Я. Краснянский, студенты;
рук. А.О. Якубов, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)*

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК AgInSbTe

Халькогенидные материалы с фазовым переходом представляют интерес в широкой области применений, таких как разработка элементов памяти, устройств интегральных фотонных схем, электрооптических элементов. Особенность данных материалов в способности быстро и обратимо менять фазовое состояние — “переключаться” между аморфным и кристаллическим состояниями с изменением оптических и электрофизических свойств. Самым применяемым материалом является $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, но его недостатки вынуждают искать альтернативные материалы. Таким материалом является $\text{Ag}_4\text{In}_3\text{Sb}_{67}\text{Te}_{26}$ (AIST), электрофизические свойства которого, однако недостаточно изучены. Целью данной работы являлось изучение температурных зависимостей электрофизических свойств тонких пленок AIST.

Аморфные пленки AIST толщиной 25 и 100 нм формировались магнетронным распылением мишени. Контроль толщины полученных тонких пленок проводился с помощью атомно-силового микроскопа на кремниевых пластинах размером 10×10 мм². Для исследования электрофизических свойств использовали планарные структуры на базе окисленной подложки из кремния с металлическими контактами из вольфрама и ранее разработанный аппаратно-программный комплекс (АПК). АПК состоит из: термостолка HFS600E-PB4 фирмы Linkam, системы контроля и измерения температуры, системы измерения электрофизических свойств, управляющего персонального компьютера. Измерения температурных зависимостей удельного сопротивления проводились от 25°C до 400°C со скоростью 5°C/мин в среде аргона. Напряжение, поданное на вольфрамовые контакты, равнялось 0,1 В.

По результатам исследований температурных зависимостей удельного сопротивления были определены температуры фазового перехода из аморфного состояния в кристаллическое, а также значения удельных сопротивлений для данных состояний. Температурный диапазон фазового перехода составлял от 170,9°C до 176,3°C и от 163,7°C до 168,5°C — для тонких пленок AIST 25 нм и 100 нм соответственно. Значения удельного сопротивления для пленок AIST в аморфном состоянии составляли $7,3 \cdot 10^1$ и $4,5 \cdot 10^1$ Ом·см, для закристаллизованных пленок — $3,1 \cdot 10^{-3}$ и $1,7 \cdot 10^{-3}$ Ом·см, для пленок AIST толщиной 25 и 100 нм соответственно.

Таким образом в ходе работы были исследованы температурные зависимости удельного сопротивления и определены электрофизические свойства осажденных тонких пленок $\text{Ag}_4\text{In}_3\text{Sb}_{67}\text{Te}_{26}$.

*Н.Д. Абдылдаев, С.М. Выскиль, Д.С. Резепов, студенты;
рук. И.Ю. Булаев (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ СПОСОБОВ СОГЛАСОВАНИЯ ИМПЕДАНСОВ В ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Выходы и входы любых электронных устройств соединены друг с другом посредством линий передач, которые могут быть реализованы, например, в виде сигнальных проводников на печатных платах или в виде кабелей, соединяющих несколько плат или устройств.

Вне зависимости от частоты сигнала его распространение в линии от источника к приемнику происходит благодаря электрическим и магнитным полям, которые, изменяясь, порождают друг друга на протяжении всей линии передачи. Изначальным «инициатором» изменения электрического поля в линии является источник сигнала, изменяющий в начале линии напряжение. Если выходное сопротивление источника сигнала, импеданс линии передачи и входное сопротивление приемника равны между собой, электрическое и магнитное поля в любой точке линии изменяются одинаково и сигнал от источника к нагрузке передается без искажений. В противном случае, в месте рассогласования сопротивлений происходит изменение картины полей, что приводит к возникновению отражений сигнала, когда часть сигнала начинает перемещаться в противоположном направлении. Отраженный сигнал будет перемещаться по линии, переотражаясь всякий раз от очередного участка рассогласования, пока полностью не затухнет. Отражения вызывают искажения формы сигнала, которые могут повредить вход приемника, и привести к ложным срабатываниям.

В цифровых линиях передачи часто возникает ситуация, когда выходное сопротивление источника ниже импеданса линии, а входное сопротивление приемника — выше. В таких случаях часто приходится применять различные способы согласования импедансов — последовательное согласование источника и линии, параллельное согласование линии и приемника и т.д. Выбор того или иного способа зависит от конфигурации линии передачи, нагрузочной способности передатчика, количества приемников и пр.

Для наглядного изучения в рамках учебного процесса степени влияния различных аспектов согласования на конечное качество сигнала на входе приемника был разработан демонстрационный стенд, реализующий различные способы согласования, с возможностью подключения измерительной аппаратуры. В качестве источника сигнала выбрана программируемая логическая интегральная микросхема с опцией программного изменения выходного сопротивления.

А.А. Резник, асп.;
рук. А.А. Резванов, к.ф.-м.н. (МФТИ (НИУ), Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТЖИГА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ГАФНИЯ-ЦИРКОНИЯ

Оксид гафния (HfO_2) находит широкое применение в различных приборах микро- и наноэлектроники, например, как подзатворный диэлектрик МОП транзисторов, как функциональный слой для перспективных видов энергонезависимой памяти FeRAM и ReRAM.

Наиболее оптимальным материалом функционального слоя FeRAM является оксид гафния с добавлением циркония ($\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ – HZO), который позволяет снизить температуру кристаллизации в необходимую полярную орторомбическую фазу с пространственной группой $\text{Rca}2_1$, а наибольший сегнетоэлектрический отклик наблюдается при соотношении гафния к цирконию как 1:1. Поскольку плёнки HZO обычно осаждают методом атомно-слоевого осаждения (АСО), то можно прецизионно контролировать толщину, соотношения компонентов и получать пленки высокого качества.

Целью данной работы является исследование влияния температуры быстрого термического отжига (БТО) на кристаллическую структуру HZO, как экспериментальными методами, так и методами квантово-химических расчётов.

Плёнки $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$ толщиной 10 нм наносились методом плазмостимулированного АСО на отечественной установке АСО «Изофаз ТМ-200» [1] на электрод из нитрида титана (TiN) толщиной 50 нм. В качестве прекурсоров для Hf и Zr использовались ТЕМАН и ТЕМАЗ, соответственно. Затем для образования орторомбической фазы производился БТО при температурах от 400 до 600°C. Для определения кристаллической структуры использовалась рентгеновская дифракция.

Квантово-химическое моделирование HfO_2 и HZO выполнялось в программном пакете Quantum ESPRESSO [2]. Для оценки влияния температуры на кристаллографию применялся метод первопринципной молекулярной динамики.

Работа выполнялась с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «Высокопроизводительные вычисления и большие данные» (ЦКП «Информатика») ФИЦ ИУ РАН (г. Москва).

Литература

1. **Зюзин С.С. и др.** Атомно-слоевое осаждение тонких пленок оксида гафния с использованием установки «Изофаз Т. 200-01» // Наноиндустрия. 2022. Т. 15. № S8-2. С. 548–552.
2. **Giannozzi P.** et al. Advanced capabilities for materials modelling with Quantum ESPRESSO // Journal of physics: Condensed matter. 2017. V. 29. no. 46. P. 465901.

*Д.В. Фадеев, студент;
рук. Д.Ю. Терехов, ст. преп. (МИЭТ, Зеленоград)*

РАЗРАБОТКА МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СО-РАСПЫЛЕНИЕМ

На сегодняшний день наиболее эффективные термоэлектрические материалы являются многокомпонентными полупроводниковыми соединениями. Ключевой технологией формирования многокомпонентных тонкоплёночных функциональных слоёв может стать метод магнетронного со-распыления с нескольких мишеней. Применение данного подхода позволит не только осаждать пленки со строго контролируемым составом, но также широко варьировать его. В свою очередь, формирование многокомпонентных тонких плёнок требует изготовления большого числа мишеней, особенно на стадии поисковых работ и экспериментальной апробации различных материалов. Это приводит к высоким материальным, временным затратам, а также большому перерасходу синтезированных материалов при изготовлении больших мишеней.

Таким образом, целью данной работы являлось разработка и изготовление миниатюрного магнетрона для сложной системы, позволяющей проводить одновременное распыление мишеней с разных магнетронов.

Для реализации поставленной задачи был разработан прототип магнетрона, работающего на постоянном токе, с максимальной плотностью мощности на мишени $0,167 \text{ Вт/мм}^2$. Диаметр мишени 40 мм, толщина не более 3 мм. Разработан комплект ЭКД, изготовлена 3D модель и сформирована управляющая программа для ЧПУ. В ходе разработки магнетрона были рассмотрены различные геометрические комбинации магнитной системы. Определены оптимальные геометрические размеры с точки зрения коэффициента использования материала мишени при распылении. Испытание магнетронной системы проводилось в вакууме при остаточном давлении $5 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$. Распыление проводилось с медной мишени марки М1 в среде аргона при давлении $1,15 \cdot 10^1 \text{ Па}$. Напряжение варьировалось от 550 В до 800 В, максимальная мощность, достигала 36 Вт, время напыления варьировалось от 5 до 20 минут.

В ходе проведения испытаний магнетрона были сформированы тонкоплёночные медные покрытия толщиной 100 нм на стекле и полиимидных пленках. Таким образом, результаты работы показали возможность работы миниатюрного магнетрона и возможность создания сложной магнетронной системы для распыления нескольких мишеней в совместном режиме для формирования многокомпонентных тонкоплёночных функциональных слоёв.

И.Е. Пименов, асп.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доц.
(ФГУП «НАМИ», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ КОНДЕНСАТОР С ОСТРОВКОВЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Накопители энергии, в том числе конденсаторы, находят применение в различных областях: промышленности, электронике, транспорте и т.д. В отличие от химических аккумуляторов конденсаторы обладают высокой зарядо-разрядочной способностью, однако имеют меньшую удельную емкость [1].

Для увеличения емкости конденсатора предлагается использовать технологии формирования тонкопленочных структур с целью уменьшения габаритных размеров, сохраняя ёмкость. Тонкопленочные технологии позволяют внедрить в структуру конденсатора слои островковых покрытий [2], увеличивающих полезную площадь обкладок конденсатора, что обеспечивает увеличение емкости до уровня, сопоставимого с наилучшими показателями химических аккумуляторов.

Целью работы является моделирование топологии конденсатора повышенной емкости с островковыми наноструктурами и подбор методов ее формирования.

Предлагаемая структура состоит из слоев обкладок, островковых слоев проводника на обкладках и слоя диэлектрика с высокой диэлектрической проницаемостью. Моделирование предложенной структуры с островками диаметром до 50 нм, расстоянием между островками 3 нм и толщиной диэлектрика 100 нм показало, что емкость такого конденсатора составит 250 Вт*ч/кг, что соответствует удельной емкости NCA аккумуляторов.

В качестве технологических методов формирования предложенной структуры используется метод магнетронного распыления, позволяющий формировать как проводящие слои обкладок, так и диэлектрический слой конденсатора. Для формирования островкового слоя рекомендуется использовать одновременное нанесение проводящего и диэлектрического материалов также методом магнетронного распыления. Базовые эксперименты показали возможность получения равномерной островковой структуры в виде проводящих включений в диэлектрической матрице.

Литература

1. **Пименов И.Е.** Способ формирования в вакууме композиционного слоя с островковыми наноструктурами.
2. **Сидорова С.В.** Островковый тонкопленочный конденсатор // Патент России № 200183. 2020. Бюл. № 28.

Н.Р. Копылов, студ., рук. Ю.М. Носова (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СО СЛУЧАЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОБЪЕМНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Моделирование компонентов больших и сверхбольших интегральных схем является неотъемлемой частью их проектирования. Ввиду большой сложности изготовления схемы, подойти к проблеме удовлетворения требований путем перебора возможных вариантов не представляется возможным. Все компоненты заранее проходят теоретический расчёт, определяющий допустимые пределы работы компонентов. Для плёночных линейных элементов задача усложнена включением случайных переменных, вызванных неровностями поверхности, вынуждающих собирать большую статистику случайных вычислений и проводить её анализ. Более эффективные модели и вычисления позволят учитывать больше данных и быть ближе к реальным характеристикам пленочного прибора.

Целью данной работы является анализ сетки сопротивления с разными законами распределения для определения конечного значения сопротивления тонкой плёнки меж электродами конечной длины.

Для решения задачи был выполнен расчёт токов сетки с помощью высокоуровневого языка программирования “Python”, имеющего широкий диапазон функций, позволяющего проводить научные расчёты и отображать их с помощью графиков.

В результате выполненной работы были получены выводы о влиянии равномерности нанесения покрытий на конечные характеристики линейных элементов.

*М.И. Ульянова, студ.;
рук. А.Ю. Резник, директор по прикладным изделиям РЧ
идентификации АО «Микрон» (МФТИ, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРО-ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНИМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Развитие печатной электроники требует материалов с оптимальными электро-физическими характеристиками для создания печатных полевых транзисторов (TFT). Необходимость снижения себестоимости производства усиливает интерес к новым материалам, пригодным для печати. Технологические требования к материалам для TFT включают стабильную воспроизводимость элементов топологии, высокую подвижность зарядов, стабильность параметров в условиях эксплуатации, а также совместимость с гибкими подложками. В работе проанализированы электро-физические параметры перспективных печатных материалов, включая органические полупроводники, оксиды металлов (IGZO), углеродные нанотрубки (SWCNT), и диэлектрики. Также проведен сравнительный анализ материалов с учетом их пригодности для различных технологий печати (струйной, аэрозольной, трафаретной, плоттерной). Используя специально подготовленные тестовые транзисторные структуры, выполнены экспериментальные измерения проводимости, подвижности зарядов и диэлектрической проницаемости пленочного полупроводникового материала IGZO, получены и исследованы ВАХ экспериментальных тестовых транзисторных структур. В процессе работы были созданы экспериментальные образцы печатных слоёв, пригодных для последующей разработки полевых транзисторов и протестированы их основные характеристики. Полученные данные могут быть использованы при разработке библиотеки печатных полупроводниковых электронных элементов, а разработанные методики позволяют определить направления исследований для улучшения характеристик печатных транзисторов.

Литература

1. **Xiaojun Guo, Member, IEEE, Yong Xu, Member, IEEE, Simon Ogier**, Current Status and Opportunities of Organic Thin-Film Transistor Technologies.
2. **Alexey Efimov*, Pavel Arsenov*, Denis Korniyushin, Anna Lizunova, Ivan Volkov and Victor Ivanov** Aerosol Jet Printing of Silver Lines with A High Aspect Ratio on A Heated Silicon Substrate.

Л.А. Эль-Хадж, студент; рук. Д.Ю. Терехов, м.н.с. (НИУ МИЭТ)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ДАТЧИКА ПИРАНИ

Многие технологические процессы в различных областях науки и промышленности необходимо проводить в вакууме. Для измерения давления в вакуумных системах широко используются датчики Пирани [1]. Принцип их работы основан на том, что при изменении давления в системе изменяется количество тепла, отводимого от чувствительного элемента (обычно резистивного). По сравнению с их объемными аналогами, миниатюрные датчики Пирани обладают рядом преимуществ, в том числе высокой чувствительностью, малыми размерами и низкой инерционностью [2]. Разработка технологии создания микродатчиков Пирани с целью минимизации технологических этапов открывает перспективы в данном направлении работ.

Данная работа посвящена разработке технологического маршрута вакуумного датчика, который представлял собой кремниевую пластину размерами 10×10 мм² с интегрированными на ней датчиком Пирани, емкостным датчиком влажности [3] и датчиком температуры. Датчик Пирани представляет собой резистивный элемент с высоким ТКС в форме меандра, подвешенного на диэлектрической мембране.

В ходе работы была предложена структура вакуумного датчика, сформирована эскизная конструкторская документация и изготовлен комплект металлизированных фотошаблонов. Предложенная структура имеет следующие геометрические размеры: площадь диэлектрической мембраны — $0,9 \times 0,9$ мм², ширина резисторов для измерения вакуума и температуры — 15 мкм, ширина электродов датчика влажности — 25 мкм с расстоянием между электродами 25 мкм.

Изготовление фотошаблонов проводилось методом лазерной абляции тонких пленок хрома, осажденных на стеклянные подложки. Вакуумный датчик формировался на термически окисленной кремниевой подложке методом позитивной фотолитографии с использованием лабораторной установки экспонирования.

Литература

1. **Xu S., Zhou N., Shi M., Zhang C., Chen D., Mao H.** Overview of the MEMS Pirani sensors // *Micromachines*. 2022. Т. 13. № 6. С. 945.
2. **Grau M., Völklein F., Meier A., Kunz C., Kaufmann I., Woias P.** Optimized MEMS Pirani sensor with increased pressure measurement sensitivity in the fine and rough vacuum regimes // *Journal of Vacuum Science & Technology A*. 2015. Т. 33. № 2.
3. **Alfaifi A., Zaman A., Alsolami A.** MEMS Humidity Sensors // *Humidity Sensors-Types and Applications*. 2021.

*Е.В. Виноградова, М.А. Юдин, аспиранты;
рук. В.П. Крылов, д.т.н., доц. (ВлГУ, Владимир)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДОМ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ

Важным аспектом обеспечения высокого качества и надежности электронных устройств является идентификация однородных партий полупроводниковых компонентов. На сегодняшний день для отбраковки полупроводниковых структур используется электротермотренировка (ЭТТ) — метод, предусматривающий крупногабаритное оборудование, значительные электрические затраты и длительный временной ресурс. В связи с этим возрастает интерес к разработке менее дорогостоящих альтернативных диагностических методов, позволяющих эффективно отбраковывать изделия с высоким риском отказов. Одним из таких методов является емкостная релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ), представляющая собой неразрушающий метод, применяемый для обнаружения дефектов кристаллической решетки (электрически активных ловушек носителей заряда).

Задачей исследования являлся анализ качества полупроводниковой структуры однопереходного полупроводникового транзистора с базой n-типа КТ117Б с помощью установки для релаксационной спектроскопии глубоких уровней. В ходе исследования двух образцов транзисторов были получены частотные сканы при 18 значениях температур (от 234 до 313 К). В результате обработки полученных сканов были определены значения амплитуд пиков релаксационных сигналов и построены графики зависимостей этих значений от температур. Исходя из анализа графиков было сделано заключение о наличии зависимости амплитуд пика релаксационного сигнала от температур у базы 2 обоих образцов транзисторов. При исследовании базы 1 образца № 1 и образца № 2 был сделан вывод об отсутствии зависимости амплитуды пика релаксационного сигнала от температур, значения амплитуд оказались значительно меньше значений, характеризующих базу 2. Данные результаты свидетельствуют о содержании объемных глубоких центров золота (с энергией активации $E_a = 0,557 \pm 0,012$ эВ) в базах 2, находящихся в непосредственной близости к корпусам образцов транзисторов КТ117Б. Причиной попадания золота в базу n-типа является использование эвтектики золото-кремний при монтаже кристалла на металлическое основание корпуса. Увеличение концентрации золота, регистрируемого по значению амплитуды пика, может вызвать возрастание обратного тока перехода.

Н.С. Павловский, студ.; рук. А.Ю. Кунцевич, д.ф.м.н. (ФИАН)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАВЛЕНИЯ 2D МАТЕРИАЛОВ ВО ФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ

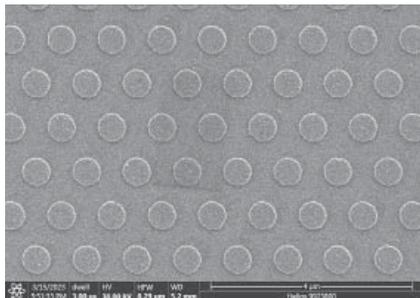


Рис. 1. Метаматериал на основе двумерного материала графена в обкладках из гексагонального нитрида бора

Плазменное травление является одним из основных процессов при производстве полупроводниковых микро- и наноструктур, поскольку обладает селективностью, управляемой анизотропией и стабильностью подложки что обеспечивает качественное травление.

В настоящей работе обрабатывались методики травления диэлектриков: h-BN — используется как высококачественный двумерный диэлектрик в различных устройствах и Si_3N_4 — материала, который позволяет делать фотонные структуры.

Процессы травления обрабатывались на SI 500 3M1L 285 — передовой системе плазменного травления с использованием источника индуктивно-связанной плазмы (ICP) с низкой энергией ионов для травления наноструктур, что обеспечивает низкий уровень повреждений (рис. 1).

Литература

1. **SENTECH Instruments GmbH** ICP-RIE Plasma Etch System — SI 500 / SENTECH Instruments GmbH [Электронный ресурс] // sentech: [сайт]. — URL: <https://www.sentech.com/products/si-500/>
2. **Моро У.** Микролитография / Моро У. — Т.2 — Москва: МИР, 1990.

*М.Ю. Прудникова, студ., Д.Д. Бутманов, студ.;
рук. Т.П. Савчук, м.н.с. (НИУ МИЭТ)*

СЕНСОРНАЯ ПЛАТФОРМА С ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА С ОБЪЕМНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

В последние годы наблюдается рост интереса к гибким сенсорам давления, особенно к резистивным сенсорам, которые отличаются высокой чувствительностью, низкими энергозатратами и быстрым временем отклика. Они широко используются в медицине, носимых электрониках, роботизированных системах и других областях.

В предыдущей работе [1] был разработан композитный материал с объемной проводимостью. Формирование композитного материала происходит путем полимеризации силикона с проводящим наполнителем. На основе полученного материала был разработан прототип тензочувствительного элемента. Электрофизические свойства композитов были исследованы при попеременной нагрузке образцов весом различной массы. Проведённые испытания полученного прототипа резистивного датчика давления, продемонстрировали высокую точность измерений. Зависимость изменения сопротивления от приложенной нагрузки линейная (коэффициент достоверности $R^2=0,997$), что подтверждает соответствие характеристик прототипа параметрам коммерчески доступных аналогов.

В настоящей работе представлена сенсорная платформа с разработанным тензочувствительным элементом. Изготовленный прибор, способен измерять сопротивление 50 чувствительных точек (матрица 5x5 см). Скорость опроса тензочувствительного элемента не менее 10 Гц. Аппаратная часть сенсорной платформы была разработана на основе микроконтроллера ESP32-C3. Текущее значение сопротивления элемента определяется путем измерения времени разрядки конденсатора, подключенного последовательно с измеряемой ячейкой. Для передачи потоковой информации используется web-socket подключение. Вывод данных осуществляется с помощью получения пакета web-страницей, расшифровки пакета с помощью JavaScript и отображении полученных результатов на веб-странице. Прототип сенсорной платформы предполагается использовать в качестве испытательного и демонстрационного стенда.

Литература

1. **М.Ю. Прудникова, Д.Д. Бутманов, Т.П. Савчук** «Разработка гибкого сенсора давления на основе полимерного композита с объемной проводимостью» // Быстропротекающие электровзрывные, электронные и электромагнитные процессы в импульсной электронике и оптоэлектронике. — Москва: БПИО-2024, 2024. — С. 66.

М.А. Шустинский, асп.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ТРАНЗИСТОР КАК УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ДНК

Ионно-чувствительные полевые транзисторы (ISFET) представляют собой перспективную технологию для секвенирования ДНК благодаря их способности регистрировать изменения ионной концентрации в растворе. Принцип их работы основан на обнаружении изменений рН, возникающих при включении нуклеотидов в растущую цепь ДНК, что позволяет преобразовывать биохимические реакции в электрический сигнал.

Преимущества технологии:

- Исключение необходимости в использовании оптической детекции.
- Высокая чувствительность и компактные размеры.
- Возможность миниатюризации для создания портативных устройств.
- Низкая стоимость производства и эксплуатация в условиях массового параллельного анализа.

Перспективы применения:

- Персонализированная медицина: доступное и быстрое секвенирование генома для адаптации лечения.
- Диагностика заболеваний: выявление генетических мутаций и патогенов [1].

Основные проблемы включают необходимость снижения шума в системе, повышение точности обнаружения редких мутаций и стандартизацию производственных процессов.

ISFET обладает потенциалом стать ключевой технологией в биомедицинских исследованиях и персонализированной медицине, способствуя ускорению и удешевлению генетического анализа.

Литература

1. **Karl V Voelkerding, Shale A Dames, Jacob D Durtschi.** Next-Generation Sequencing: From Basic Research to Diagnostics // *Clinical Chemistry*, 2009.

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**

*А.А. Дьякова, Г.А. Скаржевская, студ.;
рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ ЖЕНСКОГО МАЛОГО ТАЗА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рак шейки матки (РШМ) остается одной из наиболее распространенных форм новообразований, занимая 2-е место по частоте и 3-е место по смертности среди онкологических заболеваний у женщин [1]. Ежегодно в мире регистрируется 604 127 новых случаев РШМ и 341 831 случаев смерти от этого заболевания. Стандартизированный показатель заболеваемости в 2020 г. составил 13,3 случая на 100 тыс. женщин, а стандартизированный показатель смертности — 7,2 на 100 тыс. женщин [2]. Важно научиться вовремя диагностировать РШМ, а в этом поможет обучение врачей на фантомах [3].

Цель работы: разработать анатомически и функционально реалистичный фантом женского малого таза с моделирование РШМ для ультразвукового исследования. В разрабатываемом фантоме из тканемимитирующих материалов [4, 5] моделируются яичники, матка, мочевого пузырь и фаллопиевы трубы. Было изучено множество клинических случаев, чтобы понять какие заболевания сейчас нужно изучать больше всего. В фантоме моделировались как здоровые ткани, так и отклонения от нормы. Ультразвуковые изображения созданной модели сравнивались с ультразвуковыми изображениями клинических случаев с использованием методов математической статистики.

Таким образом, разработка фантома женского малого таза является важным шагом в повышении качества медицинской помощи и образования в области ультразвуковой диагностики.

Литература

1. **Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I. et al.** Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 2018;68(6): 394–424. DOI: 10.3322/caac.21492
2. **Ищенко А.И., Кудрина Е.А.** Эндометриоз: диагностика и лечение — М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002. — 104 с.
3. **Мурашко М.А., Шарикадзе Д.Т., Кондратьев Ю.А.** Современные подходы к качеству медицинской помощи // *ОРГЗДРАВ.* — 2016. — № 2(4). — С. 37–43.
4. **Leonov D., Nasibullina A., Grebennikova V. et al.** Design and evaluation of an anthropomorphic neck phantom for improved ultrasound diagnostics of thyroid gland tumors. *Int J CARS* 19, 1637–1645 (2024).
5. **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.

Д.А. Гаевой, студ.;
рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», ФИЦ ИУ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭХО-СИГНАЛОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Рак молочной железы — наиболее распространенный вид рака у женщин. Ежегодно от него умирает 0,5 млн. Ультразвук играет важную роль в диагностике и мониторинге рака молочной железы, особенно в дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей [1–4]. В настоящее время количественное ультразвуковое исследование становится важным инструментом в классификации поражений молочной железы, однако до сих пор их потенциал раскрыт не полностью.

Данная работа посвящена созданию алгоритмов обработки данных, основанных на методах математической статистики, предназначенных для дифференциальной диагностики новообразований. Обработке подвергаются сигналы из открытой базы данных, содержащих ультразвуковых снимки образований молочных желез [5]. Разрабатываемый алгоритм способен визуализировать гистограммы и оценивать характеристики статистического распределения, используемые для решения задач диагностики новообразований молочных желез.

Доклад может быть интересен студентам, изучающим обработку сигналов ультразвукового диагностического устройства и применение статистических методов в медицинской технике.

Литература

1. **Gao R, Tsui PH, Li S, Bin G, Tai DI, Wu S, Zhou Z.** Ultrasound normalized cumulative residual entropy imaging: Theory, methodology, and application. *Comput Methods Programs Biomed.* 2024 Nov;256:108374.
2. **Byra M., Nowicki A., Wróblewska-Piotrkowska H., Dobruch-Sobczak K.** Classification of breast lesions using segmented quantitative ultrasound maps of homodyned K distribution parameters. *Med. Phys.* 2016,43, 5561–5569.
3. **Leonov D., Venidiktova D., Costa-Júnior J.F.S. et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *Int J CARS* 19, 151–161 (2024).
4. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Morozov S.P., Gromov A.I.** Detection of microcalcifications using the ultrasound Doppler twinkling artifact. *Biomedical Engineering.* 2020. V. 54. № 3. PP. 174–178.
5. **Piotrkowska-Wróblewska H, Dobruch-Sobczak K, Byra M, Nowicki A.** Open access database of raw ultrasonic signals acquired from malignant and benign breast lesions. *Med Phys.* 2017 Nov;44(11):6105–6109.

*В.В. Гребенникова, В.О. Ястребова, студенты;
рук. Д.В. Леонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМЫ ПЕЧЕНИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

Сегодня ультразвуковая диагностика является одним из наиболее простых и доступных неинвазивных методов исследования внутренних органов и печени, в частности. Основываясь на результатах проведения исследования, врач способен локализовать новообразование, определить его экзогенность, произвести замеры опухоли и поставить диагноз, необходимый для дальнейшего лечения. Новообразования в печени — не редкость, потому специалист должен уметь их находить и верно отличать доброкачественные и злокачественные. Например, за 2022 год было зарегистрировано более 866 тыс. новых случаев образования рака печени [1].

Данная работа посвящена разработке, исследованию и созданию антропоморфного фантома печени с различными новообразованиями [2–4]. Фантом представлен моделью печени, в которой расположены: печеночная и воротная вены, а также 18 новообразований, имитирующих различные опухоли. Модель печени погружена в непрозрачные мягкие ткани. В ходе работы были измерены акустические характеристики материалов, а также были разработаны новообразования, моделирующие распространенные заболевания печени [5].

Разработанный фантом предназначен для отработки навыков дифференциальной диагностики, зрительно-моторной координации и взятия биопсии под ультразвуковым контролем.

Литература

1. World Cancer Research Fund International Liver cancer statistics [Официальный сайт.] URL: <https://www.wcrf.org/cancer-trends/liver-cancer-statistics/> (дата обращения 04.11.24)
2. **Leonov D., Nasibullina A., Grebennikova V. et al.** Design and evaluation of an anthropomorphic neck phantom for improved ultrasound diagnostics of thyroid gland tumors. *Int J CARS* 19, 1637–1645 (2024).
3. **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.
4. **Leonov D., Venidiktova D., Costa-Júnior J.F.S. et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *Int J CARS* 19, 151–161 (2024).
5. **Винницкая Е.В., Лесько К.А., Сандлер Ю.Г. и др.** Диагностика опухолей печени в условиях стационарных и поликлинических учреждений: методические рекомендации. — М.: ГБУЗ «МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ». 2022. — 56 с.

*А.С. Маркусева, студ.;
рук-ль Д.В. Леонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ ЖЕЛУДКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опухоли желудка составляют около 7,7% от общего числа онкологических заболеваний [1]. Среди заболевших мужчины составляют 8,5%, женщины — 4,8%. Ежегодно раком желудка заболевает около 952 тысяч человек [2]. Для снижения риска смерти от этого заболевания важно выявлять рак на ранних стадиях. Это требует высокой квалификации врачей, чему способствует использование фантомов [3–6].

Цель работы: разработка фантома желудка для ультразвуковых исследований. В разрабатываемом фантоме моделируются слои стенок желудка, его наполнение и опухоли различной этиологии. За взято исследование, полученное в результате компьютерной томографии органов грудной клетки пациента. Из него сегментирован желудок, подготовлена и обработана виртуальная модель, изготовлен прототип фантома. Чтобы придать моделям образований характерные ультразвуковые характеристики, было изучено множество клинических случаев. В стенках желудка моделировались как здоровые ткани, так и отклонения от нормы, включая язвы. Ультразвуковые изображения разработанной модели сопоставлялись методами математической статистики с ультразвуковыми изображениями клинических случаев.

Материалы доклада и разработка могут быть интересны исследователям, изучающим ультразвуковую диагностику и фантомное моделирование, а также — студентам медицинских учебных заведений [6].

Литература

1. **Bray F., Laversanne M., Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Soerjomataram I., Jemal A.** Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74(3):229–263.
2. **Axel E.M.** Gastrointestinal cancer statistics. *Siberian Journal of Oncology.* 2017; 16(3): 5–11.
3. **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.
4. **Leonov D., Venidiktova D., Costa-Júnior J.F.S. et al.** Development of an anatomical breast phantom from polyvinyl chloride plastisol with lesions of various shape, elasticity and echogenicity for teaching ultrasound examination. *Int J CARS* 19, 151–161 (2024).
5. **Leonov D., Nasibullina A., Grebennikova V. et al.** Design and evaluation of an anthropomorphic neck phantom for improved ultrasound diagnostics of thyroid gland tumors. *Int J CARS* 19, 1637–1645 (2024).
6. **Alexander L.F. et al.** Ultrasound Simulation Training for Radiology Residents-Curriculum Design and Implementation. *J Ultrasound Med.* 2023 Apr;42(4):777–790.

*Ю.С. Пуликова, студ.;
рук-ли Ю.В. Булгакова, асп., Д.В. Леонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ НАВЫКОВ ПОДКЛЮЧИЧНОГО СОСУДИСТОГО ДОСТУПА ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КОНТРОЛЕМ

Ультразвуковая диагностика считается одним из наиболее безопасных методов исследования и широко применяется в анестезиологии. В 59% симуляционных центров России имеется оборудование для выполнения манипуляций и проведения обследования с применением ультразвуковых технологий [1]. Обучение медиков катетеризации центральных вен на фантомах проводится в 88% центров, а под контролем ультразвука — в 59% центров [2]. Фантом подключичной области необходим для отработки навыков ультразвукового исследования, а также при обучении технике выполнения внутрисосудистых инъекций и катетеризации под ультразвуковым контролем. Целью работы является разработка фантома для тренировки навыка подключичного доступа для обучения врачей ультразвуковой диагностики.

Разработанный прототип фантома представляет собой модель плеча и шеи человека, содержащую материал, в котором проходят каналы, имитирующие сосуды и нервы. Корпус был напечатан на 3D принтере. В качестве тканеимитирующего материала выбран пластизол [3, 4] жесткостью 6 единиц по Шору с примесью графита 1% от общей массы. Полученные с использованием фантома сонограммы сравниваются с ультразвуковыми снимками человека с использованием байесовского ранжирования по модели Бредли-Терри. Фантом может быть полезен в качестве тренировочного симулятора для проведения ультразвуковых исследований в образовательных медицинских учреждениях.

Литература

1. **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.
2. **Андреевко А.А. и др.** Симуляционное обучение в клинической ординатуре по анестезиологии-реаниматологии в Российской Федерации — результаты многоцентрового исследования Федерации анестезиологов-реаниматологов / *Анестезиология и реаниматология* 2020. № 3. С. 19–26.
3. **Leonov D., Nasibullina A., Grebennikova V. et al.** Design and evaluation of an anthropomorphic neck phantom for improved ultrasound diagnostics of thyroid gland tumors. *Int J CARS* 19, 1637–1645 (2024).
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. *Int J CARS* 19, 151–161 (2024).

А.Н. Горбунова, студ.; рук. Д.А. Балакин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ QRS КОМПЛЕКСОВ В БОЛЬШИХ МАССИВАХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭРМИТА

Одним из перспективных направлений в медицинской диагностике является обработка больших массивов информации, содержащих множество признаков, по которым можно не только диагностировать патологию, но и отслеживать её динамику. Например, при холтеровском мониторинговании за сутки записывается до 100 МБ информации для одного канала. Кроме того, врачу при постобработке данных требуется точно выделить диагностические признаки за довольно короткое время в связи с большим потоком пациентов.

В связи с этим, актуальным является разработка быстрых алгоритмов детектирования различных диагностических признаков. Для обработки таких медицинских сигналов, как ЭКГ, эффективные алгоритмы строятся на основе преобразования Эрмита, в базисе которого лежат функции Гаусса-Эрмита (ФГЭ) [1]:

$$\psi_p(t) = \frac{H_p(t) \exp(-0,5t^2)}{\sqrt{p! 2^p \sqrt{\pi}}} \quad (1)$$

где $H_p(t)$ — полиномы Эрмита, p — порядок ФГЭ.

Особенность этого базиса в том, что для точного воспроизведения ЭКГ сигнала необходимо минимальное количество членов ряда ФГЭ [2], что позволяет на их основе конструировать эффективные и быстрые алгоритмы детектирования QRS комплексов.

В докладе изложены основные концепции построения алгоритма детектирования QRS комплексов на основе быстрого преобразования Эрмита. Представлены основные этапы реализации алгоритма. Также приведены результаты работы алгоритма и численное сравнение со штатными алгоритмами холтеровского мониторинга.

Литература

1. Балакин Д.А., Штыков В.В. Диагностика циклических систем с помощью алгоритма, основанного на функциях Гаусса-Эрмита // Цифровая обработка сигналов. — 2018. — № 3. — С. 59–62.
2. A. Sandryhaila, J. Kovacevic, M. Puschel Compression of QRS complexes using Hermite expansion // International Conference on Acoustics, Speech and Signal Process (ICASSP). — IEEE, 2011. — С. 581–584.

*В.В. Замашкин, В. Дони, асп.; Д.А. Шлемин, Н.Д. Толмачёв, студ.;
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

ТРАНСЛИНГВАЛЬНЫЙ КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ О ДВИЖЕНИИ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Двигательная реабилитация — важная и быстроразвивающаяся область медицины. Поиск новых подходов в этой области касается, например, сочетанного использования реабилитационного экзоскелета и электростимуляция языка [1]. При этом система типа «брэймпорт» [2] может обеспечивать не только электростимуляцию, но и передачу тактильных сигналов на язык, способный к тонкому распознаванию стимулов — для организации специфического канала обратной связи. В этой связи, была поставлена цель интеграции устройств типа «брэймпорт» и «экзоскелет» [3].

Использовался протокол связи SPI и среда ROS2. При движении частей экзоскелета верхних конечностей сигналы энкодеров передаются на компьютер, обрабатываются и направляются на наязычный электрод с конфигурацией 40 на 22 точки, каждая из которых генерирует сигнал чувствительности от 0 до 100 условных единиц.

Для управления передачей сигналов разработаны команды на Python с использованием классов Electrode. Также создана логика для получения телеметрии с устройства управления посредством узлов ROS2, взаимодействующих через стандартные интерфейсы ROS2.

Планируется провести экспериментальную апробацию системы.

Литература

1. Дейнеко В.В., Крысюк О.Б., Сафонов Л.В., Шурыгин С.Н. Современные возможности и прогноз физической реабилитации детей с церебральным параличом // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020. Т. 120 № 6 С. 88–91.
2. Пат. 2820399, Российская Федерация. Устройство для осуществления транслингвальной нейростимуляции. / Каменский М.А., Данилов Ю.П., Садыков И.Р.; заявитель и патентообладатель ООО «Синтетик Вижн». — № 2024103601; заявл. 29.09.2023; опублик. 03.06.2024 Бюл. № 16.
3. Пат. 225366, Российская Федерация. Устройство для реабилитации верхних конечностей. / Дони В., Замашкин В.В., Кубряк О.В., Меркурьев И.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». — № 2024103601; заявл. 13.02.2024; опублик. 17.04.2024, Бюл. № 11.

В.О. Ястребова, студ.;
рук-ли А.В. Петряйкин, д.м.н., доц.,
Д.В. Леонов к.т.н., доц. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)

АНТРОПОМОРФНЫЙ ФАНТОМ ПОЗВОНКОВ L1–L4 ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КТ И ДЕНСИТОМЕТРОВ

Распространенность остеопороза в Москве в возрастной группе старше 50 лет составляет у женщин 33,8%, у мужчин — 26,9% (по результатам рентгеновской денситометрии поясничного отдела позвоночника и проксимального отдела бедренной кости случайной популяционной выборки жителей) [1]. Необходимость асинхронной калибровки компьютерного томографа с целью определения объемной минеральной плотности кости позвоночника зафиксирована в позициях Международного общества по клинической денситометрии (ISCD 2019). Этот подход привлекателен также тем, что полноценно реализуется возможность диагностики остеопороза согласно критериям Американского колледжа радиологии [2, 3].

Целью исследования являлась разработка моделей позвонков L1–L4, используемых при создании антропоморфного фантома для калибровки компьютерных томографов и денситометров.

Модели состоят из трёх слоёв различной рентгеновской плотности. Основа изготавливается аддитивным методом по 3D модели, полученной из DICOM файлов КТ исследования брюшной полости. Внутри основы имеется цилиндрическое углубление, которое заполняется пластичной смесью, имитирующей трабекулярный отдел позвонка с возможностью изменения минеральной плотности путём изменения концентрации β -трикальцийфосфата для моделирования различных состояний костной ткани от нормы до остеопороза и остеопении. Сверху основа покрывается слоем пластичного материала с высоким содержанием гидроксиапатита для имитации кортикального слоя. КТ-сканирование модели продемонстрировало соответствие рентгеновских плотностей и размеров заявленным.

Литература

1. **Петряйкин А.В. и др.** Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2// Травматология и ортопедия России, №25, с. 124–134, 2019.
2. **Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Абуладзе Л.Р., Ахмад Е.С., Семенов Д.С.** Практическое применение фантома для автоматизированной оценки минеральной плотности кости// Остеопороз и остеопатии, №25(3), с. 10–11, 2022.
3. **Морозов С.П. и др.** Устройство фантома для проведения испытаний рентгеновских методов остеоденситометрии. Патент RU186961U1.

А.В. Моисеев, студ.;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ МИНИ-КАРДИОГРАФА

Заболевания сердечно-сосудистой системы остаются одной из ведущих причин смертности во всем мире, что обуславливает высокую потребность в доступных и надежных устройствах для мониторинга сердечных аритмий. Уменьшение времени на диагностику и повышение доступности таких устройств особенно важно для пациентов из групп риска, а также для своевременного выявления аритмий и других нарушений сердечной деятельности. Мини-кардиограф «Сердечко», позволяет осуществлять регистрацию автоматический анализ (ЭКС) в условиях свободной двигательной активности, что делает его незаменимым инструментом как для личного, так и профессионального использования [1].

Коллективом планируется усовершенствовать устройство путем разработки специального алгоритма анализа сердечного ритма для проведения мониторинга критических состояний, возникающих в условиях высокой двигательной активности. Это особенно важно в ситуациях, где физическая нагрузка, резкие движения или внешние факторы создают значительный уровень помех, способных повлиять на точность измерений и интерпретацию данных. Алгоритм повысит помехоустойчивость, улучшит качество обнаружение полезного сигнала и позволит минимизировать количество ложных срабатываний.

Важным этапом этой работы является создание специальной базы данных, включающей записи электрокардиосигналов, полученных в условиях реальной двигательной активности, которая позволит проводить тестирование и настройку алгоритма анализа сердечного ритма.

Литература

1. Инновационные медицинские диагностические приборы и программное обеспечение // [Электронный документ] URL: <https://atesmedica.ru/catalog/ikrz/?ysclid=m48tjykrx9378189733>

Е.С. Шестерикова, студ.; рук. Д.С. Торопчин, асс. (НИУ «МЭИ»)

SC-РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ БИОСИГНАЛОВ

Доклад посвящен реализации на переключаемых МОП-конденсаторах (SC-реализации) многоканального усилителя биосигналов для медицинского применения. Такой усилитель может использоваться, например, в электрокардиографии (ЭКГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), электромагнитографии (ЭМГ) [1]. Например, в ЭКГ-приборах многоканальный усилитель используется для усиления биосигналов, поступающих с электродов [2].

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с реализацией многоканального усилителя биопотенциалов 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. Отметим, что использование программируемых аналоговых интегральных схем — ПАИС, позволяет решать проблему создания разнообразных аналого-дискретных устройств, кардинально снизив стоимость и габариты [3].

В докладе рассматривается конкретный пример SC-реализации четырехканального усилителя биосигналов на ПАИС компании Anadigm в полностью дифференциальном исполнении для использования в схеме электрокардиографа. 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 // ИПП Курск, 2009.
2. **Крамм М.Н.** Методы и приборы биомедицинских исследований: методическое пособие // Изд. дом МЭИ, 2009.
3. **Торопчин Д.С.** Теоретические и практические аспекты проектирования устройств на переключаемых МОП-конденсаторах // Вестник МЭИ. 2014. № 3.

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

УСТРОЙСТВА И УЗЛЫ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Devices and modules of IoT Systems

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

Секретарь секции: Ушков Андрей Николаевич

Э.П. Алейникова, студ.; рук. В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ ТРЕХЦВЕТНЫХ АДРЕСНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Визуальное изображение позволяет эффективно считывать информацию о работе оборудования в системах контроля и управления человек-машина, в информационных табло и т.п. Для удобства считывания с расстояния размеры изображения должны быть значительными, существенно больше размера LCD-монитора с высоким разрешением. Появление компактных цветных светодиодных матриц с адресным управлением позволяет снять ограничения по размеру и углу обзора [1].

В работе предлагается устройство визуализации, собираемое из ячеек на основе матричных RGB-панелей с адресными светодиодами. Его ключевой особенностью является возможность последовательного соединения ячеек в требуемую пространственную структуру произвольной размерности и синхронная передача элементов изображения. Такой подход может быть эффективен при построении быстродействующих устройств визуализации большого размера.

Управление устройством выполнено на микроконтроллере ATmega 328p, который формирует на своих выходах цифровую последовательность управляющих импульсов. По линии цифрового управления импульсы подаются на последовательные цепочки трехцветных адресных светодиодов WS2812b матричной панели из 256 светодиодов размерностью 16x16 элементов. Каждый светодиод управляется последовательностью из 3 пакетов по 8 бит, соответствующих трем основным цветам. Длительность управляющего сигнала одного светодиода составляет до 30 мкс, а время смены изображения около 8 мс. Блоки светодиодов различной размерности могут соединяться последовательно по линии управления, формируя произвольную пространственную структуру. Разработан алгоритм формирования управляющего сигнала и изготовлен экспериментальный макет устройства визуализации. На макете проведена отладка программного обеспечения и формирования изображений.

Литература

1. **Abbasov I.B.** Certain features of image perception and recognition // International Research Journal. — 2020. — № 8 (98).

А.М. Чепарин студ.; рук. А.Н. Ушков (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧЕ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ



Рис. 1. Сравнение истинных и предсказанных значений расстояния

состояния на каждом шаге измерения, определяются рекуррентными соотношениями [2]:

$$\begin{aligned} a_{ik} &= a_{ik/k-1} + K_{ik}[\lambda_{ik} - h_{ik}(a_{ik/k-1})] \\ a_{ik/k-1} &= B_i a_{ik-1} \\ K_{ik} &= C_{ik/k-1}^{-1} H_{ik}^T (H_{ik} C_{ik/k-1}^{-1} H_{ik}^T + C_{\lambda_{ik}}^{-1})^{-1} \\ C_{ik/k-1}^{-1} &= B_i C_{ik-1}^{-1} B_i^T + Q_{ik} \\ C_{ik}^{-1} &= C_{ik/k-1}^{-1} - K_{ik} H_{ik} C_{ik/k-1}^{-1} \end{aligned}$$

Для повышения точности в работе был использован фильтр на основе нейронной сети [3, 4].

В результате работы был разработан и проверен фильтр на основе нейросети для оценки вектора состояний цели, что отражено на рисунке 1.

Литература

1. А.М. Чепарин, А.Н. Ушков, Радиолокационная система обнаружения птиц вблизи аэродромов // 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.
2. Ovchinnikov P.E. Application of artificial neural networks for signal processing // Educational and methodical manual. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod University. — 2012.
3. Bogomolov N.P., Sidorov V.G. Filtering estimates of the state vector in a two-position radar system using artificial neural networks // Siberian Aerospace Magazine. — 2005. — № 3. — P. 12–16.
4. Ushkov A.N. et al. Algorithms of Internet of Things Systems for Ornithological Security Tasks // 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2024. — С. 1186–1192.

А.М. Игнатов, Р.Г. Рязанцев, студ.; А.Ю. Трофимов, асп.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ ПРИ СОЗДАНИИ УЗЛОВ НА ПЭДВ

Современное развитие 5G-техники тесно связано с изучением характеристик волнующих структур и применяемых диэлектрических материалов, а также их взаимодействия между собой для управления потоком электромагнитной энергии.

В данной работе представлены результаты исследования использования технологий 3D-печати при создании узлов на основе полуэкранированных диэлектрических волноводов (ПЭДВ). Применение 3D-печати позволяет значительно упростить процесс изготовления узлов. При этом технология оказывает определенные изменения на диэлектрическую проницаемость стержня, что требует дополнительной корректировки формата волновода

В рамках исследования характеристик волноводов, изготовленных при помощи 3D-печати было замечено, что экспериментальные данные подтверждают расчет структур с учетом корректировки относительной диэлектрической проницаемости, связанной с 3D-печати. Предложенная технология открывают новые возможности для разработки функциональных узлов на базе ПЭДВ и доступности оптимизации структур на базе натурального эксперимента. При этом в работе подчеркивается необходимость дальнейших исследований влияния различных материалов 3D-печати в производстве высокочастотных устройств, а также расширение областей применения функциональных узлов на ПЭДВ, таких как радарная техника беспилотных систем и узлы космической аппаратуры.

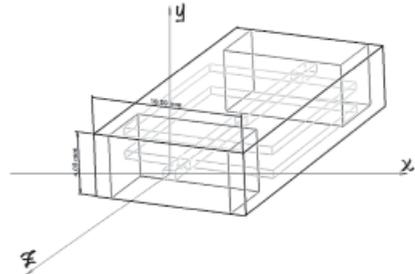


Рис. 1. Модель полуэкранированного диэлектрического волновода

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.** Широкополосный металлодиэлектрический волноводный тракт с малыми потерями КВЧ-диапазона // Радиотехника. — 2021. — Т. 8. — №. 3. — С. 89–98.
3. **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.

*Д.Ю. Фролов, студ.; А.Ю. Трофимов, Д.С. Чукашов, асп.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УСТРОЙСТВО БЕСПРОВОДНОГО КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

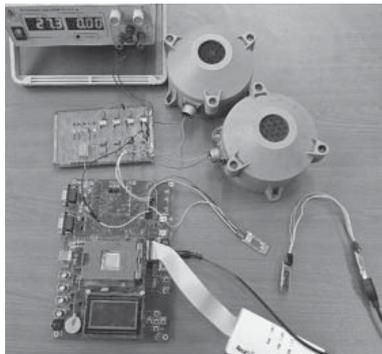


Рис. 1. Макет системы пожарной безопасности с беспроводным опросом модулей

Развитие современных промышленных систем и их защита от аварийных ситуаций в настоящее время связаны с интеграцией цифровых радиоэлектронных модулей контроля состояния процессов и устройств, реализующих автоматизацию производственных процессов и их независимую работу. Использование беспроводных сетей для связи между устройствами для выполнения быстрого обмена данными и их последующей обработки помогает повысить надежность промышленных комплексов и системную безопасность за счет сканирования устройств и оценки их параметров в режиме реального времени.

В данной статье рассматриваются возможности использования беспроводных технологий для решения задач управления и мониторинга противопожарного оборудования в системах «умный город» и промышленности Интернет вещей. Интеллектуальный модуль, сканирующий статусы датчиков пожарной безопасности, основан на контроллере K1986VE91T с ядром cortex-m3. Обработка данных и сбор статистики были реализованы на отдельном модуле, в основе которого используется контроллер STM32, с которым устройство сбора данных поддерживает контакт по беспроводному типу связи.

Экспериментальные данные, полученные на установке, рисунок 1, подтвердили эффективность предложенных алгоритмов и возможность интеграции с существующими системами пожарной безопасности.

Литература

1. **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.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Smart Cloud Equipment Tracking and Control System // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 783–788.
3. **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.

Р.Г. Рязанцев, А.М. Игнатов, Н.В. Морозов, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ НАВИГАЦИИ СИСТЕМЫ РОБОТА — ТРАНСПОРТЁРА

Современное развитие робототехнических систем требует применения высокоточных и адаптивных алгоритмов построения карт в режиме реального времени. Такие алгоритмы используются для решения задач навигации роботов-транспортёров в сложных динамических средах. В данной работе представлены результаты исследования методов построения карт с применением методов одновременной локализации и картографирования (SLAM) с использованием ультразвуковых дальнометров и камер [1].

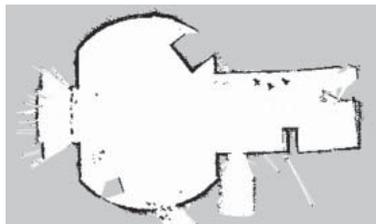


Рис. 1. Карта построенная с использованием Gmapping

В рамках исследования проведён сравнительный анализ эффективности алгоритмов SLAM, таких как GMapping, Hector SLAM и Cartographer. Также изучено влияние плотности считываемых данных и их фильтрации на точность создаваемых карт [2]. Экспериментальные результаты показывают, что использование комбинированных сенсоров позволяет улучшить устойчивость алгоритмов к шумам и динамическим объектам в рабочей зоне.

Предложенное техническое решение открывает новые возможности для применения роботов в складской логистике и на производственных предприятиях. Работа подчёркивает перспективность дальнейших исследований в области интеграции различных сенсоров и разработки подходов к построению карт в условиях низкой вычислительной мощности.

Литература

1. **Riazantsev, R.G., Andrey N. Ushkov, N.V. Morozov and N.O. Strelkov.** “Local Navigation for an Industrial Warehouse Robot.” 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (2024): 1179–1185.: Toward the Robust-Perception Age // IEEE Transactions on Robotics. — 2016. — Vol. 32. — № 6. — P. 1309–1332.
2. **Ushkov, Andrey N., R.G. Riazantsev, N.V. Morozov and A.Yu. Trofimov.** “Radio Navigation Algorithms for Tasks of Industrial Internet of Things.” 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) (2024): 592–598.

*У.С. Бакун, студ. (РУДН), Н.А. Бородин, Д.Ю. Фролов, студ. ;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЛАЧНЫЙ МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ

Развитие систем облачной обработки в настоящее время позволяют оптимизировать и поднять эффективность технологических процессов в различных областях реального сектора [1]. Так одной из практических задач является отслеживание и мониторинг состояния вещей, находящихся в камере хранения, что может быть использовано для улучшения туристической отрасли в гостиницах, а также банковской сфере.

В настоящей работе обсуждаются вопросы проектирования устройств контроля и облачной обработки на базе MQTT сервера платформы Rightech, применяемой для удаленного мониторинга систем интернета вещей [2] и промышленного интернета вещей [3]. Разработанный модуль выполнен на основе микроконтроллера STM 32 и может передавать данные по двум сценариям. В первом случае передача осуществляется через wifi-сеть на облачную платформу при помощи SPI-интерфейса и модуля esp01. Во втором сценарии рассмотрен вариант подключения по проводному соединению через Ethernet.

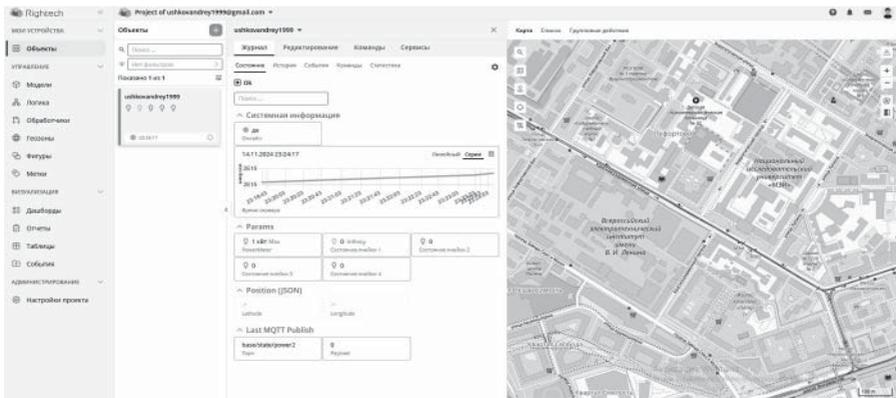


Рис. 1. Интерфейс облачной системы мониторинга камер хранения

В результате работы были проведены экспериментальные сравнения надежности каналов связи и функциональные возможности систем. Беспроводной канал связи показал меньшую надежность на физическом уровне, но значительное функционально преимущество по сравнению с проводным вариантом.

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. **Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S.** Internet of Things (IoT): A literature review // Journal of Computer and Communications. — 2015. — Т. 3. — № 5. — С. 164–173.
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.

Ю.Р. Щеголихин, студ.; рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ДАТЧИК УТЕЧКИ ГАЗА С БЕСПРОВОДНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ ДЛЯ СИСТЕМ «УМНОГО ГОРОДА»

Активная газификация в нашей стране влечёт за собой увеличение вероятности возникновения чрезвычайных происшествий, связанных с утечкой бытового газа [1], и ставит задачи по их предотвращению. Использование специальных устройств — датчиков утечки газа — является актуальным направлением за счет простоты изготовления, а также высоких показателей эффективности подобных решений, что позволяет вовремя заметить утечку и принять все необходимые меры по её устранению. Направление разработки малогабаритных устройств обнаружения газа не новое, но является перспективным [2].

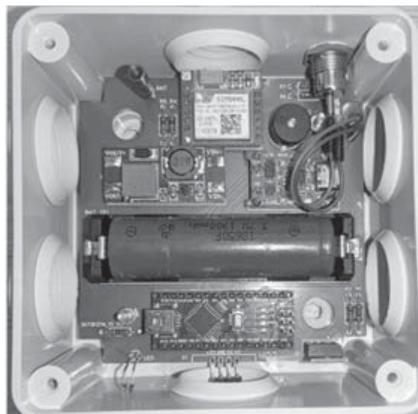


Рис. 1. Беспроводной датчик контроля утечки газа

В настоящей работе обсуждается реализация автономного беспроводного датчика утечки газа с целью интеграции в системы «умного» и «умного» города. Разработанный датчик, показанный на рисунке 1, работает на базе микроконтроллеров семейства AVR, в частности ATmega328, и передает данные об утечке при помощи беспроводного канала связи на основе GSM [3]. Экспериментальная проверка макета устройства осуществлялась при помощи натурного эксперимента на базе лаборатории Интернета Вещей в НИУ «МЭИ».

В результате работы была проведена оценка эффективности и состоятельности устройства, исследован вопрос добавления дополнительных функций для лучшего пользовательского опыта.

Литература

1. **Krutsikh 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.
2. **Krutsikh V.V. et al.** Industrial Internet of Things Algorithms for Fire Safety System Control // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 853–858.
3. **Soussi A. et al.** Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review // Sensors. — 2024. — Т. 24. — № 8. — С. 2647.

*М.И. Сынков, М.М. Татух, студ. (Московский Политех);
А.М. Игнатов, студ.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ УМНОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

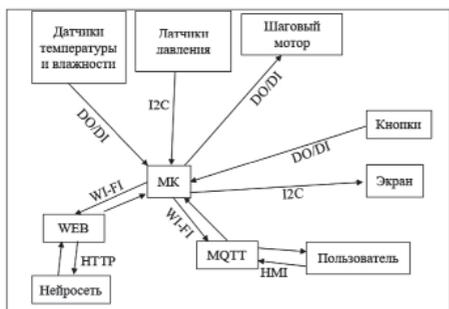


Рис. 1. Структурная схема системы умного дома с обработкой данных при помощи нейронной сети

Активное внедрение интеллектуальных устройств и систем в последние десятилетия связаны с развитием технологий передачи данных при помощи облачных платформ, используемых в концепции устройств Интернета Вещей. При этом рост числа устройств и их сетевого взаимодействия между собой требует разработки новых правил и протоколов передачи данных, отвечающих критериям скорости и высокой пропускной способности [1].

В настоящей работе обсуждается использование алгоритмов нейронных сетей для управления беспроводными системами умного дома, в рамках заданных условий сценариев, а также обработки данных. Для реализации задачи был разработан прототип системы умного дома на базе микроконтролера ESP32, взаимодействующего через веб-сервер с нейронной сетью [2]. В качестве исследуемого параметра системы авторегулирования выступили показатели в виде температуры и влажности, а также давления. При помощи нейросети, обрабатывающей данные с датчиков, были прописаны базовые и оптимизированные при помощи корректирующих алгоритмов параметры работы увлажнителя воздуха и кондиционера.

В результате работы была разработана система интернета вещей, приспособленная для задач климат контроля умного дома, а также написан алгоритм нейронной сети, подбирающий коэффициенты на основе базы данных об изменениях и настройках пользователем температуры и влажности.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Automating Electric Power Consumption with a Smart Electricity Meter // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 599–604.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Industrial Internet of Things Algorithms for Fire Safety System Control // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 853–858.

*А.В. Фомина, С.Е. Пономарева, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ SpO2 В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В последнее время наблюдается значительный рост интереса к технологиям мониторинга здоровья, что приводит к выявлению различных патологий на ранних этапах. Одним из ключевых показателей, отражающих состояние организма и его способность к кислородному обмену, является уровень насыщения крови кислородом (SpO₂). Этот параметр играет важную роль в диагностике и лечении заболеваний дыхательной системы, сердечно-сосудистых расстройств и других состояний, связанных с нарушением оксигенации тканей [1].

В настоящей работе проведен анализ существующих устройств, а также методов и технологий, использующихся для измерения SpO₂, а также разработана схема портативного модуля, работающая на базе микроконтроллера семейства AVR ATmega 328p. В качестве беспроводного канала связи в работе использован wi-fi соединение, работающее по протоколу IEEE802.11 [2]. Отображение данных происходит на базе веб-сервера [3], реализованного на базе лаборатории Интернета Вещей НИУ «МЭИ».

В результате работы был разработан прототип беспроводного датчика, который сможет найти применение, как в медицинских учреждениях, так и в домашних условиях, способствуя улучшению мониторинга здоровья пациентов и повышению качества жизни граждан и своевременному обращению к специалистам.

Литература

1. **Ghubaish A. et al.** Recent advances in the internet-of-medical-things (IoMT) systems security // IEEE Internet of Things Journal. — 2020. — Т. 8. — № 11. — С. 8707–8718.
2. **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.
3. **Krutsikh V.V. et al.** Smart Cloud Equipment Tracking and Control System // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 783–788.



Рис. 1. Структурная схема беспроводного датчика удаленного мониторинга SpO₂

Д.С. Селин, асп. (АО "РКС"), А.М. Игнатов, студ.;
А.Ю. Трофимов, асп.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОУСТОЙЧИВЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

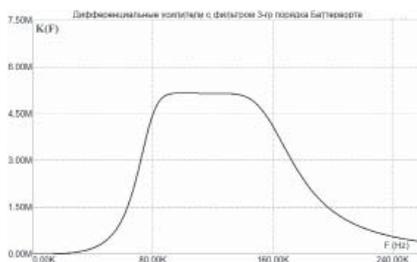


Рис. 1. АЧХ активного полосового фильтра Баттерворта 3-го порядка

конструкция многокаскадного активного фильтра на базе высокостабильных операционных усилителях и проведено исследование влияние внешних воздействий на АЧХ цепи [3]. Так в рамках работы при помощи численного моделирования проведен анализ схемы с учетом и без учета цепи отрицательной обратной связи. В качестве исследуемых характеристик выступили температурная нестабильность элементов и отличие элементов от номиналов с учетом их подбора под номиналы ряда E96.

В результате работы были получены основные зависимости изменения АЧХ и ФЧХ активного фильтра, которые показали, что использование обратной связи снизило искажения до 2,5% в худшем случае.

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. **Ushkov A.N. et al.** Radio Navigation Algorithms for Tasks of Industrial Internet of Things // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 592–598.
3. **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.

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

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО КЛЮЧА НА ОСНОВЕ LiNbO₃ В АНИЗОТРОПНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Активное развитие мобильных устройств и Интернета вещей (IoT) приводит к возрастающим требованиям быстродействия и пропускной способности инфокоммуникационных сетей [1–3]. Важную часть последних представляют собой коммутационные сети, во многом определяющие общее быстродействие всей системы [2]. На сегодняшний день существуют матричные волоконные коммутаторы, построенные на основе термооптического, акустооптического, магнитного и бистабильного эффектов. Однако, все они обладают низким быстродействием в сравнении с коммутаторами, основанными на электрооптическом эффекте Поккельса-Керра [3].

В данной работе решается задача нахождения аналитической зависимости коэффициента отражения электрооптического ключа, представляющего собой слоистую периодическую структуру из тонких пленок диэлектрика и ниобата лития (LiNbO₃), от приложенного к нему напряжения и длины падающей волны. Так как ниобат лития является двухосным анизотропным кристаллом, решается система волновых уравнений Максвелла для шести компонент поля. Приведен расчет коэффициентов отражения и прохождения ключа в открытом и закрытом состояниях, а также связанного с ними ослабления оптического пучка, падающего на ключ. Полученные результаты могут быть полезны при построении сетей коммутации между устройствами Интернета вещей.

Литература

1. **Bahalul Haque A.K.M., Oahiduzzaman M.Z., Rifat H.M.** (2023). 5G and Internet of Things — integration trends, opportunities, and future research avenues. In: Bhushan, B., Sharma, S.K., Kumar, R., Priyadarshini, I. (eds) 5G and beyond. Springer Tracts in Electrical and Electronics Engineering. Springer, Singapore.
2. **Барабанова Е.А., Выговтов К.А., Федоровская А.Н., Иванов М.Г.** Имитационное моделирование полностью оптических коммутаторов / Материалы 7-й Международной научной конференции «Информационные технологии и технические средства управления» (ICST-2023, Астрахань). М.: ИПУ РАН, 2023. С. 358–360.
3. **Выговтов К.А., Барабанова Е.А., Иванов М.Г.** Оптическая антенна с управляемой диаграммой направленности для применения в каналах атмосферной связи // Радиотехника и электроника. 2023. Т. 68, № 11. С. 1122–1130.

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

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ L, S, C ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ

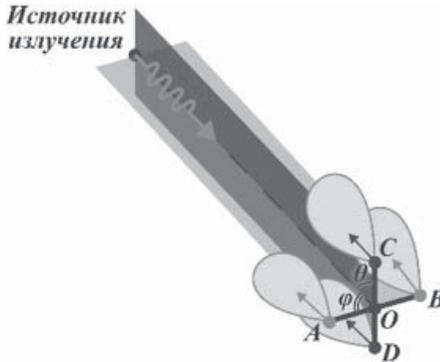


Рис. 1. Метод определения углового направления прихода излучения

Интенсивное развитие мобильных электронных устройств и Интернета вещей (IoT) приводит к активному росту телекоммуникационных сетей, и в частности, беспроводных сетей связи [1]. Плотная сетка частот и сильная загруженность L, S, и C диапазонов, соответствующих наиболее распространенным стандартам связи, являются причиной повышенной зашумленности электромагнитной обстановки в плотно населённых районах [2]. В связи с этим актуальной является задача мониторинга электромагнитной обстановки с целью

контроля допустимых стандартами норм мощности излучения, соблюдения выделенной полосы и мест размещения инфокоммуникационного оборудования.

В данной работе описан метод построения пассивной системы мониторинга электромагнитной обстановки в диапазоне 1,2–6 ГГц. Предложенная система является угломерной сканирующей системой (рис. 1), способной обнаруживать направление прихода излучения по максимуму принятого сигнала. Рассмотрены технические особенности построения углового сканирования, а также представлены практические результаты построения экспериментального макета подобной системы.

Литература

1. **AbdelRahman H. Hussein** Internet of Things (IOT): research challenges and future applications // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Vol. 10, № 6, 2019.
2. **Maier M., Ebrahimzadeh A., Beniiche A., Rostami S.** The Art of 6G (TAO 6G): how to wire Society 5.0. Journal of Optical Communications and Networking. 2022. № 14(2). P. A101–A112.

Н.В. Морозов, А.М. Игнатов, Р.Г. Рязанцев, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СРЕДЕ РОБОТА — ТРАНСПОРТЁРА

Навигационная платформа представляет собой интеграцию технологий машинного зрения и сенсоров для решения задач автоматической навигации в промышленной среде. Основные компоненты включают камеру для анализа изображений, инерциальную систему навигации (INS), ультразвуковые датчики и сверхширокополосные (UWB) передатчики для высокоточного позиционирования внутри помещений [1].

Система машинного зрения выполняет задачи фильтрации и нормализации изображений, улучшая качество данных для распознавания объектов. Процесс распознавания QR-кодов проходит через этапы фильтрации изображения и выделения контура, что позволяет точно идентифицировать QR-коды даже при недостаточном освещении.

Основные алгоритмы и методы включают фильтрацию изображения, которая улучшает контраст, сглаживает изображение, снижая шум и выделяя ключевые детали. Для распознавания объектов используется классификация, определяющая наиболее вероятный класс объекта. Анализ движения рассчитывает скорость и направление перемещения, отслеживая изменения интенсивности изображения. Фильтр Калмана повышает точность навигации, предсказывая состояние робота на основе предыдущих данных и корректируя его с учетом текущих измерений.

Система прошла успешное тестирование в условиях, приближенных к реальной промышленной среде. Эксперименты подтвердили, что платформа эффективно выполняет задачи распознавания объектов, безопасного обхода препятствий и адаптации к изменяющимся условиям, включая уровень освещения и шумовые помехи [2].

Литература

1. **Riazantsev, R.G., Andrey N. Ushkov, N.V. Morozov and N.O. Strelkov.** “Local Navigation for an Industrial Warehouse Robot.” 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (2024): 1179–1185.
2. **Bradski G., Kaehler A.** Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. — 2nd ed. — Sebastopol: O’Reilly Media, 2008. — 576 p.

Д.А. Кулешов, А.М. Игнатов, Р.Г. Рязанцев, студ.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТРОЛЬ ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ УМНОГО ГОРОДА



Рис. 1. Прототип системы теплоснабжения

Современное развитие технологий умного города предъявляет высокие требования к системам отопления, в частности к контролю их давления. Эффективное управление этим параметром способствует повышению энергоэффективности, снижению затрат на эксплуатацию и предотвращению аварий [1].

В данной работе представлены результаты исследования методов контроля давления в системах отопления с использованием цифровых датчиков и алгоритмов предиктивной аналитики.

Рассматриваются подходы к интеграции сенсоров в IoT-инфраструктуру и к созданию автоматизированной системы управления (АСУ) отоплением.

В рамках исследования проведён анализ различных типов датчиков давления: мембранных, пьезорезистивных и емкостных. Также изучена эффективность алгоритмов прогнозирования на основе машинного обучения для выявления аномалий в работе системы [2]. Экспериментальные данные показали, что использование гибридной системы контроля, объединяющей аппаратные средства с программным анализом, обеспечивает высокую точность и надёжность управления [3].

Предложенное решение открывает перспективы для применения в ЖКХ, промышленности и других секторах. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию энергопотребления и расширение функциональности умных систем отопления в условиях городской среды.

Литература

1. **Pravalika V. et al.** Internet of things-based home monitoring and device control using Esp32 // International Journal of Recent Technology and Engineering. — 2019. — Т. 8. — № 1S4. — С. 58–62.
2. **Капанский, А.А.** «Применение датчиков и IoT устройств для мониторинга гидравлического давления в контексте Индустрия 4.0.» (2023).
3. **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.

Я.С. Любушкин, Д.Ю. Фролов, студ.; Д.С. Чукашов, асп.;
рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДУЛЬНЫЙ ПЛК С CAN-ИНТЕРФЕЙСОМ

Развитие при помощи цифровых методов и интеграции беспроводных устройств в промышленность являются основными этапами к созданию эффективного производства в настоящее время [1]. Так критическим вопросом является создание универсальных модулей взаимодействия с устройствами с распространенными промышленными интерфейсами, такими как CAN, Modbus и других [2].

В настоящей работе рассмотрена разработка системы дистанционного управления и мониторинга состояний устройств и обработке передаваемых данных по CAN интерфейсу. Для этого в работе разработан беспроводной модульный ПЛК на базе микроконтроллера ESP 32. В качестве канала связи служит wi-fi соединение с роутером, который передает собранные данные на MQTT-брокер, где пользователь может отслеживать состояние отдельных модулей, подключенных к разработанному ПЛК. Также для локального управления предложена светодиодная индикация режимов и вывод данных на дисплей. Для управления и настройки режимов работы предусмотрено управление кнопками.

В результате работы была спроектирована система удаленного мониторинга на базе ПЛК с CAN интерфейсом, которая была протестирована с нагрузкой в виде счетчика электроэнергии, работающего по CAN интерфейсу. Экспериментальные данные подтвердили корректность работы и показали возможность интеграции системы в промышленность и системы умного города для сбора данных со счетчиков электричества, воды и других электронных устройств.

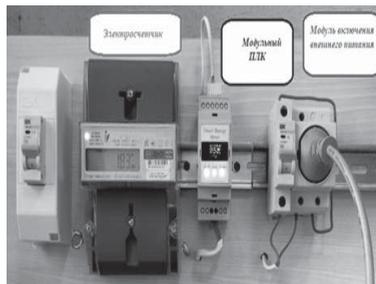


Рис. 1. Модульный ПЛК с CAN-интерфейсом с нагрузкой в виде счётчика электроэнергии

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Automating Electric Power Consumption with a Smart Electricity Meter // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 599–604.
2. **Krutsikh V.V. et al.** Industrial Internet of Things Algorithms for Fire Safety System Control // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 853–858.

*М.М. Салпагаров, М.С. Березовский,
Н.М. Васечко (Московский Политех), Н.И. Репин, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ В СИСТЕМАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

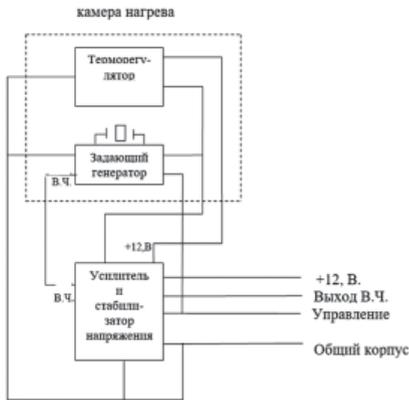


Рис. 1. Структурная схема термостатированного кварцевого генератора

тур окружающей среды [2]. Для этого в работе используются термостатирующие устройства. Они предназначены для автоматического поддержания температуры термостатируемого объекта с допустимой погрешностью при изменении температуры окружающей среды и условий эксплуатации.

В результате работы были проведены расчеты конструкции и смоделированы ситуации работы системы для широкого диапазона температур, которые показали эффективность предложенного в работе метода.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Automating Electric Power Consumption with a Smart Electricity Meter // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 599–604.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Industrial Internet of Things Algorithms for Fire Safety System Control // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 853–858.

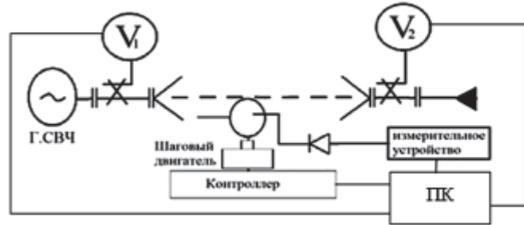
А.С. Оганнисян, А.М. Чепарин, студ.; рук. А.М. Игнатов, асс. (НИУ «МЭИ»)

УСТАНОВКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЧ МАТЕРИАЛОВ В КА ДИАПАЗОНЕ

В современной радиотехнике, работающей на СВЧ диапазоне важная роль отводится диэлектрическим резонаторам. Это обусловлено множеством полезных свойств как частотная избирательность узла, малое энергопотребление и высокая надежность [1]. За последние годы резонаторы превратились из объекта лабораторных исследований в совершенные компоненты электронной техники. В связи с этим появилась необходимость точного измерения параметров ДР [2].

В настоящей работе была спроектирована установка по измерению параметров диэлектрических резонаторов и СВЧ материалов. Основным измеряемым параметром является коэффициент передачи с порта 1 на порт 2, из которого при помощи вычислений в программном блоке можно найти резонансную частоту, полосу пропускания и добротность резонатора [3]. Для нахождения коэффициента передачи необходимо снять амплитуду напряжения падающий на вход измерительной оснастки волны, а также и отраженной на ее выходе волны. С этой задачей хорошо справляются детекторные головки. Структурная схема установки представлена на рисунке 1.

В результате работы была спроектирована установка, выработан алгоритм её работы, а также разработан программный блок обработки результатов для расчета параметров диэлектрических и гирромагнитных материалов направляющих структур.



Литература

1. **Krutsikh V.V. et al.** Evaluation of the Study of Dielectric and Metal-Dielectric Waveguides Using Digital Twins Under Modern Conditions // 2023 7th International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT). — IEEE, 2023. — С. 1–7.
2. **Ushkov A.N. et al.** Industrial VSWR Automation Module in the EHF Range // 2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). — IEEE, 2024. — С. 714–719.
3. **Krutsikh V.V. et al.** Irregularities in a metal-dielectric shielded waveguide with low losses for the frequency range 90–100 GHz // Physics of Wave Processes and Radio Systems. — 2022. — Т. 25. — № 3. — С. 58–66.

С.Е. Пономарева, студ.; рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

УДАЛЁННЫЙ МОНИТОРИНГ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА БАЗЕ ХОЛТЕРА



Рис. 1. Структурная схема холтера с облачной обработкой данных

Современные технологии мониторинга состояния здоровья предъявляют высокие требования к системам удаленного контроля физиологических параметров, в частности к точности и непрерывности регистрации сердечной активности. Эффективное решение этой задачи способствует раннему выявлению патологий,

своевременному реагированию на критические ситуации и улучшению качества жизни пациентов.

В данной работе представлены результаты исследования методов удаленного мониторинга [1] сердечной активности на базе холтера с использованием алгоритмов обработки сигналов. Рассматриваются подходы к беспроводной передаче данных [2] в облачную инфраструктуру и к созданию системы анализа кардиограмм с применением методов машинного обучения. В рамках исследования проведен анализ различных типов биосенсоров: электрокардиографических (ЭКГ) с использованием электродов различной конструкции. Изучены эффективность алгоритмов обработки ЭКГ-сигналов, включая шумоподавление, детекцию R-зубцов и анализ интервалов RR [3] для определения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и выявления аритмий.

В результате работы эксперименты показали высокую мобильность и надежность предлагаемой системы в условиях различных внешних воздействий на систему [4] и повседневной активности пациентов.

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. **Krutsikh V.V. et al.** Smart Cloud Equipment Tracking and Control System // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 783–788.
3. **Ghubaish A. et al.** Recent advances in the internet-of-medical-things (IoMT) systems security // IEEE Internet of Things Journal. — 2020. — Т. 8. — № 11. — С. 8707–8718.
4. **Malyshev A.P. et al.** Optimization of navigation algorithms parameters in fingerprint method by received wi-fi signal // 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2023. — Т. 5. — С. 1–6.

А.М. Игнатов, студ.; рук. Штанько, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОЗОНО-ВОЗДУШНОЙ УСТАНОВКОЙ

На сегодняшний день системы ионизации помещений используются широко используются в сельском хозяйстве для продления срока годности продуктов, а также в медицине для уничтожения вредных бактерий и лечения заболеваний. При этом большинство систем работают при помощи ручного управления, что не требует дополнительных ресурсов для контроля работы системы. Автоматизация системы является перспективной задачей, раскрывающей потенциал систем как в задачах автоматизированных медицинских, так и для промышленных комплексов.

В статье рассматриваются основные типы и конструкции генераторов озона.

Исследуются зависимости концентрации озono-воздушной смеси от величины питающего напряжения, частоты и вида разрядного промежутка. Приведены основные параметры, определяющие эффективность работы электроозонаторов. Рассматриваются факторы, влияющие на увеличение производительности генераторов озона. Особое внимание уделяется генераторам озона на основе коронного разряда. Предлагается микропроцессорная система управления коронным электроозонатором.

В результате работы был спроектирован прототип системы автоматизированного управления электроозонатором, обрабатывающий по заданным в системе таймерам и сценариям.

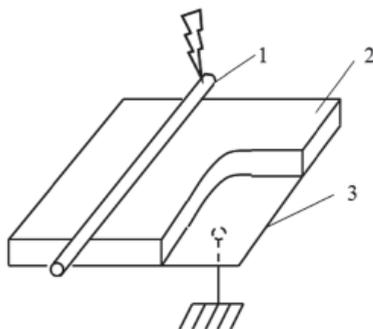


Рис. 1. Принцип работы генератора озона: 1 — проволока (коронирующий электрод), 2 — диэлектрик, 3 — металлическая пластина

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Automating Electric Power Consumption with a Smart Electricity Meter // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 599–604.
2. **Krutskikh V.V. et al.** Industrial Internet of Things Algorithms for Fire Safety System Control // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 853–858.
3. **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.

*М.М. Татух, М.И. Сынков (Московский Политех);
И.Д. Медников, студ.;
рук. А.И. Черников, старш. препод. (НИУ «МЭИ»)*

МОБИЛЬНАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ БПЛА



Рис. 1. Структурная схема мобильной РЛС

Развитие технологий проектирования и изготовления беспилотных систем ставит новые требования к регулированию движения, связи и навигации между устройствами [1]. В связи с этим возникает задача разработки систем и инфраструктуры для применения беспилотных систем с целью повышения безопасности жизнедеятельности [2].

В настоящей работе была спроектирована радиолокационная установка на базе микроконтроллера STM32 для установки на подвижные транспортные средства и обнаружения беспилотных систем. Основным критерием выступает алгоритм слежения за целью, масштабируемость и доступность предложенного технического решения [3]. Для взаимодействия с другими объектами в системе предусмотрен модуль связи, работающий по GSM связи, что позволяет использовать систему для многопозиционной радиолокации. Однако для этого необходима доработка алгоритмов третичной обработки.

В результате работы были проведены исследования компактной радиолокационной системы с возможностью ее использования на мобильных системах многопозиционной радиолокации.

Литература

1. **Ushkov A.N. et al.** Radio Navigation Algorithms for Tasks of Industrial Internet of Things // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 592–598.
2. **Riazantsev R.G. et al.** Local Navigation for an Industrial Warehouse Robot // 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2024. — С. 1179–1185.
3. **Ushkov A.N. et al.** Algorithms of Internet of Things Systems for Ornithological Security Tasks // 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2024. — С. 1186–1192.

*М.О. Булыгин, студ. (Московский Политех);
А.М. Игнатов, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КАМЕР

На сегодняшний день холодильные промышленные камеры играют важную роль в обеспечении сохранности и качества продукции в различных отраслях, включая пищевую промышленность, фармацевтику и логистику. Эффективное управление температурными режимами и другими параметрами хранения является критически важным для предотвращения порчи товаров и соблюдения стандартов безопасности. В настоящее время всё более широкое применение в холодильной технике получают системы мониторинга и управления работой оборудования с помощью систем автоматизации [1].

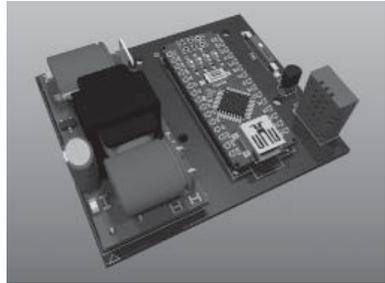


Рис. 1. Модель системы дистанционного мониторинга, контроля и диспетчеризации холодильных промышленных камер

В настоящей работе обсуждается анализ и конструирование модели системы мониторинга, контроля и диспетчеризации холодильных промышленных камер, которая будет энергоэффективной, недорогой и успешно работать при низких температурах. Эта система представляет собой интегрированный комплекс, который позволяет в реальном времени отслеживать состояние оборудования, контролировать температуру, влажность, состояние двери и управлять процессами хранения. В случае необходимости, наблюдаемые и ожидаемые значения параметров холодильной установки система может привести к нормальным условиям [3].

В результате работы были проведены расчёты конструкции, разведена печатная плата и смоделирован корпус устройства.

Литература

1. **А.Н. Фот и др.** Система автоматического мониторинга с удаленным доступом для холодильных и компрессорных систем / Омский научный вестник. — 2012. — № 2(110). — С. 166–172.
2. **Krutsikh V.V. et al.** Smart Cloud Equipment Tracking and Control System // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 783–788.
3. **Krutsikh 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.

В.С. Гусева, студ.; рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

ТОНОМЕТР С МОДУЛЕМ GSM



Рис. 1. Структурная схема тонометра с модулем GSM

Автоматические тонометры становятся неотъемлемой частью жизни многих людей, следящих за состоянием здоровья, и являются наиболее популярными среди подобных устройств [1]. Они позволяют измерять артериальное давление и пульс без значительных усилий со стороны пользователя. В настоящее время тонометры активно интегрируются в систему

интернета вещей [2]. Существуют модели, способные передавать данные в сеть для удаленного мониторинга врачом или анализа в медицинских приложениях.

В настоящей работе был проведен анализ современных тонометров, включая модели с модулями беспроводной связи. Также была разработана схема тонометра с модулем GSM. Полученные результаты измерений выводятся на OLED-дисплей и сохраняются на SD-карту. Взаимодействие с микроконтроллером обеспечивается по шине SPI. Возможна отправка данных по сотовой связи при помощи модуля SIM800L [3], который связан с микроконтроллером с помощью интерфейса UART. В качестве микроконтроллера был выбран семейства PIC24.

Главным преимуществом такого тонометра является возможность передачи данных в любых местах с доступом к мобильной связи.

В результате работы был получен прототип тонометра с модулем GSM. Такое устройство можно использовать в медицинских учреждениях или в домашних условиях.

Литература

1. Прожерина Ю. Аптечный рынок тонометров: ключевые тренды // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. — 2019. — № 4. — С. 28–31.
2. Тимбакова Д.И., Уразбахтина Ю.О., Хисамутдинова Н.Р. Тонометры с беспроводной передачей данных // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях. — 2018. — С. 392–393.
3. Асташов Д.А. Обзор GSM модулей // Электронный журнал: наука, техника и образование. — 2019. — № 2. — С. 108–115.

*Д.Е. Белокопытов, Б.А. Батыров (Московский Политех);
В.С. Гусева, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ СБОРА УРОЖАЯ УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ

Современное сельское хозяйство сталкивается с растущими вызовами [1]: постоянно увеличивающимся спросом на продовольствие, ограниченными ресурсами и необходимостью снижения затрат. Традиционные методы сбора урожая трудоёмки, подвержены человеческому фактору [2] и часто приводят к значительным потерям продукции. Только комплексный подход, основанный на интеграции передовых технологий и современных научных знаний, способен обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства и обеспечить продовольственную безопасность в будущем.

Умная теплица представляет собой современное решение, основанное на принципах автоматизации сбора урожая. В её основе лежит роботизированный манипулятор, оснащённый передовой системой компьютерного зрения [3]. Эта система, используя алгоритмы машинного обучения, в режиме реального времени анализирует состояние растений, определяет зрелость плодов, их местоположение и оптимальный путь для сбора. Роботизированный манипулятор, управляемый системой компьютерного зрения, бережно собирает спелые плоды, минимизируя повреждения и обеспечивая сохранность урожая.

Внедрение системы автоматизированного сбора урожая обеспечит максимальную производительность, минимизирует потери урожая, связанные с нехваткой рабочей силы или несвоевременным сбором, и значительно снизит трудозатраты [4]. Это позволит производителям оптимизировать производственные процессы, увеличить рентабельность и улучшить качество продукции.

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.
4. **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.

В.С. Карнаух, И.Н. Малушко, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДЛЯ «УМНОГО» ТЕРРАРИУМА

Современные технологии стремительно развиваются, и с каждым годом мы наблюдаем все большее внедрение автоматизации и умных решений в повседневную жизнь. Одной из таких областей, где автоматизация может значительно улучшить условия содержания живых существ, является террариумистика. Актуальность данной работы обусловлена растущим интересом к экзотическим животным и растениям, а также необходимостью обеспечения их комфортных условий для жизни. Умные террариумы позволяют не только автоматизировать процессы, связанные с поддержанием нужного микроклимата, но и значительно упростить уход за питомцами. Использование датчиков для мониторинга температуры, влажности и давления в террариуме позволяет владельцам получать актуальную информацию о состоянии среды обитания, что, в свою очередь, способствует более эффективному управлению условиями содержания животного [1].

В настоящей работе был проведен анализ датчиков контроля среды на анализ метрологической точности, а также проведено исследование систем облачного контроля на процесс защищенности [2]. На базе микропроцессорной системы были спроектированы система контроля температуры на основе датчика ВМЕ280 и нагревателя с увлажнителем. Также была разработана система подачи пищи, которая работает на основе таймеров, заложенных в алгоритм работы устройства. Для отображения данных представлено 2 варианта реализации передачи данных: первый подразумевает передачу по wi-fi на MQTT-сервер платформы Reightech [3], второй осуществляет передачу по проводному интерфейсу с ПК при помощи программного обеспечения на базе Processing. В качестве микроконтроллера был выбран ESP 32, мощность которого обеспечивает необходимый функционал работы устройства.

Таким образом, данная работа охватывает все ключевые аспекты проектирования, программирования и тестирования систем актуальных для террариумистики и интеграции современных технологий.

Литература

1. **Krutsikh 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.
2. **Krutsikh V.V. et al.** Smart Cloud Equipment Tracking and Control System // 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — IEEE, 2024. — С. 783–788.
3. **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.

*А.С. Кириллов, В.И. Хижин, М.Ю. Анкин,
Н.С. Дякин, А.В. Костырин, студ.;
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА ОБЛАЧНОГО МОНИТОРИНГА НАПОЛНЕНИЯ МУССОРНЫХ КОРЗИН В УМНОМ ГОРОДЕ

В настоящее время вопрос сбора и организованной обработки мусора является стратегически важным направлением и способствует сохранению экологического облика планеты и в частности городов, где наблюдается техногенная деятельность человека [1].

При этом использование систем и технологий облачного мониторинга и интернета вещей могут обеспечить контроль состояний уровня загрязнения и минимизировать его дальнейшее распространения за счет доступности и дешевизны разрабатываемых систем [2].

В настоящей работе рассмотрена разработка контроля за отходами в рамках улицы умного города, где авторы предлагают использовать сеть связанных «умных» мусорных баков и корзин [3]. Так в рамках работы над системой контроля наполнения корзин были использованы модули на базе микроконтроллера ESP-32 и ультразвуковых дальномеров оценивающих уровень загрузки мусорных баков. В качестве облачной платформы выступил MQTT-сервер, работающий по принципу подписок и осуществляющий дистанционное отображение состояний мусорных баков.

В результате работы была разработана сеть беспроводных «умных» мусорных баков, реализованных на материальной базе лаборатории Интернета. Продолженная система имеет перспективы интеграции в системы умного города.



Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга наполнения мусорных баков

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. **Ushkov A.N. et al.** Radio Navigation Algorithms for Tasks of Industrial Internet of Things // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). — IEEE, 2024. — С. 592–598.
3. **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.

Секция 13

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Mathematical modeling

Председатель секции: к. ф. - м. н. Вестфальский Алексей Евгеньевич

Секретарь секции: к. ф. - м. н. Бирюков Алексей Михайлович

А.А. Сесюкалов, студ.; рук. А.Б. Фролов, д. т. н., проф. (МЭИ, Москва)

ПОСТРОЕНИЕ РЕЗОЛЮЦИЙ РАЗРЕШИМЫХ КОМБИНАТОРНЫХ БЛОК-ДИЗАЙНОВ МАЛОГО ПОРЯДКА

При анализе различного рода систем, имеющих структуру сбалансированного неполного блок-дизайна $(v, k, 1)$ -СНБД, т.е. построенных из элементов v типов, имеющих блоки по k элементов различных типов, такие, что два элемента разных типов содержатся в одном блоке, важно знать, возможно ли разбиение блоков на непересекающиеся множества блоков, объединения блоков которых содержат без повторов элементы каждого типа. Такое разбиение множеств блоков называется резолюцией, а его подмножества — параллельными классами. $(v, k, 1)$ -СНБД, для которых существует резолюция называется разрешимым. Построение резолюции разрешимого СКВД в общем случае является сложной комбинаторной задачей [1]. Полным перебором всевозможных перестановок блоков реализуется универсальный алгоритм определения, является ли СНБД разрешимым, и построения резолюции в случае разрешимости.

Представлена программа реализации такого алгоритма применительно к СНБД малого порядка и предназначенная для демонстрации разрешимости и резолюций при изучении данного раздела комбинаторики. В сравнении рассматриваются два варианта поиска резолюций — перебором перестановок в алфавитном порядке индексов объектов и перестановкой пар индексов (ускоренный вариант).

Блоки в подмножествах представляются их номерами, пересечения блоков вычисляются по номерам двух блоков, без построения самих блоков с использованием алгоритмов из [2]. Демонстрируется разрешимость аффинных геометрий, систем троек Штейнера обоих типов, эрмитовых комбинаторных блок-дизайном и линейных и квадратичных трансверсальных блок-дизайнов, а также неразрешимость проективной геометрии.

Результаты использованы для расширения функциональности рабочего стола по изучению комбинаторных блок-дизайнов и их применения [2].

Литература

1. **P. Kaski, Patric R.J. Östergard.** Classification of resolvable balanced incomplete block designs Math. Slovaca 59 (2009), No. 2, 121–136. DOI: 10.2478/s12175-009-0113-8.
2. **A. Frolov, N. Kochetova, A. Vinnikov and A. Sesiukalov,** “Educational Desktop for Remote Modeling of Secure Cyber-Physical Systems Protocols,” 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–6.

М.С. Сергеев, студ.; рук. А.В. Кожевников, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКУСА И КАЧЕСТВА ЕДЫ РЕСТОРАНА ПО ОТЗЫВАМ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ NLP ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА

С использованием современных технологий и возможностей машинного обучения становится возможным более эффективно и объективно оценивать качество ресторанов на основе отзывов. Эта тема является актуальной в современном мире, где отзывы играют решающую роль в выборе места для посещения. При помощи машинного обучения и анализа больших объемов данных можно улучшить объективность рейтингов ресторанов, что представляет интерес как для потребителей, так и для предпринимателей в сфере общественного питания.

В рамках работы описаны принципы работы NLP моделей классификации текста [1], особое внимание уделяется NLP модели BERT [2], разработанной Google AI в 2018 году.

Для реализации решения был использован язык программирования Python, фреймворк для машинного обучения PyTorch и библиотека Transformers. Для этой задачи была выбрана предобученная NLP модель BERT с 12 миллионами параметров. Для завершения модели был добавлен полносвязный слой, количество входов которого соответствует внутренней размерности эмбединга сети, а выход к числу классов для классификации. В данной задаче происходит классификация на 4 класса, а внутренняя размерность равна 512.

Для обучения и тестирования модели был составлен датасет, состоящий из отзывов с сайта <https://www.tripadvisor.ru/>. Было взято 1050 отзывов о ресторанах, с различными направлениями в еде (европейская кухня, русская кухня и др.), и вручную размечено в зависимости от вкуса и качества еды, описанных в данных отзывах.

В результате работы модели с небольшим набором данных точность достигает 75.5%, вследствие чего можно сделать вывод об эффективности применения предложенной модели для решения поставленной задачи классификации текстов отзывов пользователей.

Литература

1. **Хобсон Л.** Обработка естественного языка в действии / Лейн Хобсон, Халке Ханнес, Ховард Коул; [перевели с английского И. Пальти, С. Черников]. — Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2020. — 575 с.
2. **Horev R.** BERT Explained: State of the art language model for NLP / Rani Horev [Электронный ресурс] // [towardsdatascience.com](https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270): [сайт]. — 2018. — URL: <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270>

Л.В. Провоторова, асп.; рук. Ю.А. Дубинский, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О РАЗРЕШИМОСТИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ НА ЯДРЕ ОПЕРАТОРА СЛЕДА

В предыдущих работах (напр., [1]) было показано, что краевая задача на ядре оператора следа слабо корректна тогда и только тогда, когда для любой функции $u \in W_{2,norm}^1(G)$ выполнено неравенство

$$\int_G |u|^2 dx \leq M \int_G |\nabla u|^2 dx,$$

где $W_{2,norm}^1(G) = \{u \in W_2^1(G) \mid (u|_{\Gamma}, \tau) = 0\}$.

Нижеследующая лемма является по существу конкретной реализацией известной общей леммы Соболева об эквивалентных нормах [2].

Лемма. Если область G имеет липшицеву границу Γ , то для любой функции $u \in W_{2,norm}^1(G)$ справедливо неравенство

$$\int_G |u|^2 dx \leq M \int_G |\nabla u|^2 dx,$$

где $M > 0$ — постоянная.

Доказательство леммы проводится по схеме, восходящей к доказательству Соболева.

Аналогичную теорему можно рассмотреть и для функций

$$u \in W_{2,tang}^1(G) = \{u \in W_2^1(G) \mid (u|_{\Gamma}, n) = 0\}.$$

В ходе доказательства леммы были получены неравенства

$$\int_G |u|^2 dx \leq M \left(\int_G |\nabla u|^2 dx + \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, \tau)^2 d\gamma \right),$$

$$\int_G |u|^2 dx \leq M \left(\int_G |\nabla u|^2 dx + \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, n)^2 d\gamma \right)$$

($M > 0$ — постоянная), имеющее и самостоятельный интерес.

Литература

1. Дубинский Ю.А., Провоторова Л.В. Нестандартные краевые задачи теории двумерных векторных полей // Проблемы математического анализа: Выпуск 127. С. 107–116. 2024.
2. Соболев С.Л. Некоторые применения функционального анализа в математической физике. — Ленинград: Издательство ЛГУ, 1950. — 256 с.

К.А. Рубинов, асп.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИКАЦИЙ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Изучение методов машинного обучения является важным аспектом современного технического образования. Одной из областей, в которых широко применяется машинное обучение является компьютерная графика, в том числе трехмерная визуализация. Известны работы, посвященные применению нейронных сетей в процессе трехмерной визуализации с целью достижения более высокой эффективности [1, 2].

Исследуются три варианта модификации метода [1] визуализации реалистичного глобального освещения в экранном пространстве с использованием генеративно-состязательной нейронной сети [3].

Представлено сравнение вычислительных затрат модификаций метода, использующего генеративно-состязательную сеть для визуализации глобального освещения трехмерной сцены. Разработан образовательный ресурс для сравнительного исследования нейросетевых методов в рамках курса “Методы машинного обучения” на кафедре математического и компьютерного моделирования [4]. Создано программное средство для визуализации глобального освещения с использованием модификаций метода.

Литература

1. **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: 14.11.2024).
2. **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).
3. **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.
4. **K. Rubinov, A. Frolov, A. Mamontov.** Educational Resources for Remote Comparative Study of Generative Adversarial Networks // 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/Inforino60363.2024.10551915.

М.С. Вopilкин, студ.; рук. Е.Г. Базулин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОИСК ГЛОБАЛЬНОГО МИНИМУМА ФУНКЦИИ ОБРАЖИСТОГО ТИПА МЕТОДОМ СТРАТЕГИИ ВОЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ (WSO)

При разработке алгоритмов может возникнуть задача поиска минимума функций овражистого вида. Классические методы, основанные на оценке градиента, например, симплексный метод, недостаточно эффективны для решения такой задачи, так как могут прекратить поиск, попав в локальный минимум функции. Биоинспирированные методы [1] (TSA, PSO, GA, QPSO, WSO) более эффективно находят глобальный минимум.

Один из методов основанный на роевом интеллекте назван War Strategy Optimization (WSO) [2]. На каждой итерации все солдаты имеют равную вероятность стать либо королем, либо командиром в зависимости от их боевой силы (значения функции). Существует вероятность того, что король или командир попадут в ловушку противника (локальный минимум). Чтобы избежать этого, солдаты, руководствуются передвижением короля и командира. При атаке солдаты работают на поиск новых минимумов, иначе обороняют короля и командира (схождение в глобальный минимум). На рис. 2 показано число правильных решений в логарифмической шкале при 500 испытаниях перечисленных ранее алгоритмов для поиска минимума функции овражистого типа со множеством локальных минимумов (рис. 1). Метод WSO (32 особи и 32 итерации) из 500 испытаний 500 раз нашёл глобальный минимум, метод QPSO — 493 раза. Остальные методы поиска минимума сработали хуже.

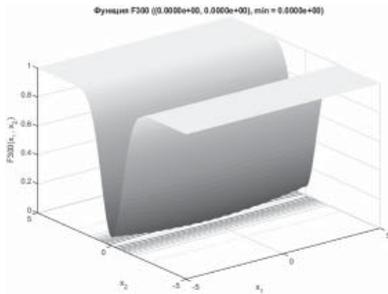


Рис. 1. Вид функции

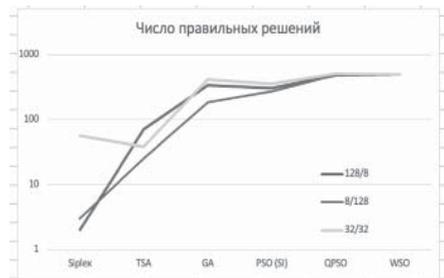


Рис. 2. Число правильных решений

Литература

1. X.-S. Yang, Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver press, 2010.
2. T.S.L.V., Ramakrishna, N.S.S., Elavarasan, R.M., et al.: War strategy optimization algorithm: a new effective metaheuristic algorithm for global optimization. IEEE Access 10, 25073–25105 (2022).

М.Д. Мартиросян, студ.;
рук. О.В. Шевченко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНОЕ РАССМОТРЕНИЕ АЛГОРИТМА БЫСТРОГО ОБРАТНОГО КВАДРАТНОГО КОРНЯ

Алгоритм быстрого обратного квадратного корня — очень удачное приближение для своего времени. Подходящее только для маловажных расчётов (нормировка векторов в трёхмерной графике, работа с матрицами поворота) значение погрешности немодифицированного алгоритма заставило отказаться от него в расчётах, требующих большей точности.

Принцип работы алгоритма можно выразить следующим образом. Имеется переход от представления числа с плавающей запятой к его целочисленному представлению, который характеризуется константой приближения. Этот факт и его подробное математическое обоснование содержится в работе [1]. После этого производится одна итерация метода Ньютона для уточнения алгоритма. Поиски наиболее удачной константы методом минимакса для такой реализации были произведены в исследовании [2]. Было предложено экспериментально установить превосходство данной реализации алгоритма относительно других.

Выбраны следующие модификации алгоритма: одна, две, три итерации метода Ньютона, без уточнения, одна итерация методом Галлея. Варианты с методом Ньютона также содержали реализацию с другой константой приближения. Время исполнения разных вариантов алгоритма на разных ЭВМ в сравнении с микрокомандами ЦП, полученное в работе [3], показало, что по сравнению с микрокомандами ЦП 2012 года выхода на рынок и ранее, алгоритм с двумя шагами метода Ньютона выполняется примерно в 1,6 раза быстрее, при применении одного шага алгоритм выполняется быстрее микрокоманд ЦП более чем в 4 раза.

По результатам проведенных вычислительных экспериментов наилучшим образом себя зарекомендовали одна итерация метода Ньютона с константой 0x5F1FFF77 для маловажных задач (погрешность порядка 10^{-4}) и две итерации метода Ньютона с 0x5F375A86 для задач, требующих большей точности (порядка 10^{-7}). Погрешность с 0x5F1FFF77 больше лишь в 1,1 раза, поэтому такая реализация тоже отлично подходит.

Литература

1. **Lomont C.** // Fast inverse square root. 2003. <http://lomont.org/papers/2003/InvSqrt.pdf>
2. **Kadlec J.** // Improving the fast inverse square root. 2010. http://rrrola.wz.cz/inv_sqrt.html
3. **N. Hellman** // Revisiting The Fast Inverse Square Root — Is It Still Useful? 2023. https://hllmn.net/blog/2023-04-20_rsqr/

К.Д. Безрук, студ.;
рук. О.В. Шевченко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕКЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КЛИЕНТОПОТОКА БАНКА

Предлагается математическая модель для прогнозирования временного ряда, построенного на основе данных, полученных от российского банка в период с 2020 по 2023 год, учитывающая влияние внутренних и внешних событий в финансовом и экономическом секторе на динамику посещения интернет платформ (мобильной и web-версии). Исследования показали, что самыми значительными событиями, влияющими на резкое увеличение посещаемости стали: повышение ключевой ставки, падение курса рубля, а также итоги торгов крупных компаний на рынке.

Для выбора метода прогнозирования полученного временного ряда было проведено исследование в три этапа: обзор существующих методов прогнозирования; выбор методов, исходя из свойств временного ряда (тренд, сезонность, применимость для аномальных наблюдений); построение сводной таблицы метрик для сравнения отклонения спрогнозированных данных от точных значений.

Необходимо было выбрать метод, который обладает высокой точностью вычислений, достаточной производительностью, параметрами, настраивая которые можно было бы регулировать обработку сезонности, а также подходящей функцией сглаживания и масштабирования временного ряда для получения точного прогноза. Методы, основанные на рекуррентных нейронных сетях, а именно LSTM по первичному анализу должен решить поставленную задачу.

Прежде чем дойти до этапа обучения модели необходимо пройти многоступенчатые операции, связанные с данными: предобработка, нормализация, отбор полезных признаков, а также удаление аномалий. Такой сложный и долгий процесс возможно оптимизировать, используя уже готовые фреймворки AutoML. Итогами проделанной работы станут: получение прогноза посещаемости интернет-платформ банка, построение метода для прогнозирования исходного временного ряда с оптимальными параметрами, а также сравнительный анализ обучения модели с помощью “человеческой” и автоматической обработки данных.

Литература

1. **Кизбекенов К.О.** Прогнозирование и временные ряды. 2017.
2. **С.В. Козлов, С.А. Седенков.** Анализ LSTM и GRU моделей для построения прогнозов временных рядов. International Journal of Open Information Technologies, no. 7, 2024

*Д.О. Болотный, Д.А. Моисеев, студенты;
рук. А.И. Мамонтов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРИЕМЛЕМОСТИ ТЕКСТА

Цель работы — настроить нейросетевую модель для улучшения приемлемости текста, чтобы мы подавали в модель неприемлемые предложения и получали от нее приемлемые, то есть более естественные для носителя языка.

Для этого мы используем сгенерированный набор данных, составленный на основе отзывов о товарах с сайта Amazon, переведенных несколько раз на русский язык и отобранных с помощью специальных моделей. Мы формируем пары предложений, которые представляют собой перевод одной и той же англоязычной фразы: одно предложение приемлемо, а другое нет. Для определения приемлемости результатов перевода мы используем модель ruRoBERTa-large-rucola, полученную путём дообучения модели ruRoberta-large [1] на наборе данных [2]. Мы удаляем пары, в которых предложения сильно отличается друг от друга согласно метрике сходства, основанной на модели paraphrase-multilingual-mpnet-base-v2, предложенной авторами [3]. На сгенерированном наборе мы дообучаем нейронную сеть ruT5-base [1].

После завершения обучения модель продемонстрировала способность улучшать приемлемость с успехом около 76%. Это означает, что в 76% случаев модель успешно преобразовала некорректные тексты в приемлемые. Преобразованные предложения остаются похожими друг на друга согласно метрике сходства, основанной на модели paraphrase-multilingual-mpnet-base-v2. Можно улучшить результат путем совершенствования базы данных, т.е. добавления более разнообразной информации и удаления ошибочной.

Литература

1. **Zmitrovich D., Abramov A., Kalmykov A.** [et al.] A Family of Pretrained Transformer Language Models for Russian // Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Computational Linguistics, Language Resources and Evaluation (LREC-COLING 2024). — 2024. — pp. 507–524.
2. **Mikhailov V., Shamardina T., Ryabinin M.** [et al.] RuCoLA: Russian Corpus of Linguistic Acceptability // Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. — 2022. — pp. 5207–5227.
3. **Reimers N., Gurevych I.** Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP) — pp. 3982–3992.

А.Э. Ульяненко, аспирант; рук. М.П. Руденко, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

Моделирование прогнозирования научно-исследовательской деятельности вуза является актуальной задачей на сегодняшний день, так как участие в рейтингах престижно для высших учебных заведений. Высокие позиции позволяют вузам добиваться дополнительного финансирования со стороны правительства и привлекать инвестиции извне. Подобные привилегии побуждают руководства вузов, помимо выполнения критериев для прохождения мониторинга МОН РФ, точно повышать эффективность своей деятельности для улучшения позиции в рейтингах.

В методологии рейтинга «Три миссии университета» на научно-исследовательскую деятельность отводится 25% от общей оценки [1]. Позиция в рейтинге позволяет судить об эффективности научно-исследовательской деятельности вуза, на основе чего могут приниматься дальнейшие действия, прежде всего — прогнозирование.

При моделировании прогнозирования показателей, отвечающих за научно-исследовательскую деятельность, были взяты и проанализированы: метод скользящих средних, метод экспоненциального сглаживания, а также регрессионная модель. Объектом исследования выступали некоторые показатели научно-образовательной деятельности.

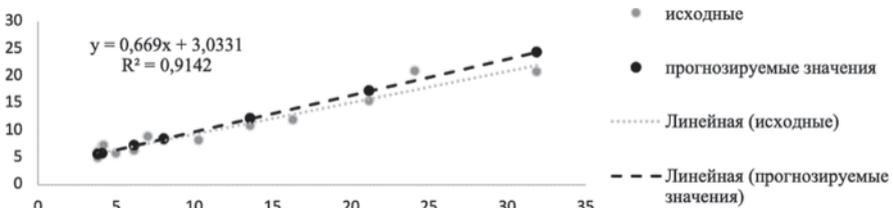


Рис. 1. Регрессионная модель прогнозирования

Описанными методами построена модель, которая показывает точность прогноза не менее 90%, что оценивается как «высоко», и доказывает свою применимость в данной области. Тем не менее, каждый из методов применялся в изолированных несуществующих условиях, не учитывая при этом внешнюю среду с набором других показателей, способных отклонять точность прогноза. Целью дальнейшего исследования является комплексный подход с построением алгоритма расчета точности прогноза.

Литература

1. Садовничий, В.А. Московский международный рейтинг «Три миссии университета» как инструмент оценки качества высшего образования / В.А. Садовничий // Высшее образование сегодня. — 2019. — № 4. — С. 2–9. — DOI 10.25586/RNU.НЕТ.19.04.02. — EDN VYCQJ.

А.А. Николаев, студ.;
рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛУДИСКРЕТНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛОБМЕНА В СИСТЕМЕ ИДЕНТИЧНЫХ БЛОКОВ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ЭКРАНОВ

Рассматривается одномерная начально-краевая задача, описывающая процесс распространения тепла в системе, состоящей из n параллельно расположенных одинаковых блоков, где каждый блок представляет собой три теплопроводящих материала (экрана). Ширина каждого i -го слоя в блоке ε_i , причем общая ширина блока равна $\sum_{i=1}^3 \varepsilon_i = 1/n$.

Экраны разделены вакуумными прослойками и каждый i -ый слой блока имеет постоянную удельную теплоемкость $c_i > 0$, теплопроводность $k_i > 0$ плотность ρ_i и степень черноты $0 < \theta_i \leq 1$, $i = 1, 2, 3$.

Распространение тепла внутри каждого из экранов описывается уравнением теплопроводности. На границах раздела экранов ставятся условия теплообмена излучением между соседними экранами. На границах системы экранов ставятся условия теплообмена излучением крайних экранов с внешней средой. Начальная температура системы считается заданной.

В данной работе предложены три полудискретных аппроксимации рассматриваемой задачи, позволяющие находить приближенные решения исходной задачи с высокой скоростью и точностью.

Важно отметить, что при совпадении материалов и ε_i , $i = 1, 2, 3$, построенные приближения совпадают с полудискретными аппроксимациями предложенными в [1].

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект — FSWF-2023-0012).

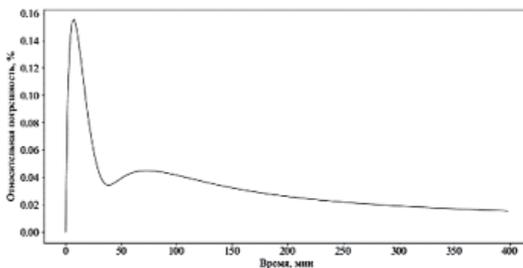


Рис. 1. Относительная погрешность одной из полудискретных аппроксимаций

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.Ю. Федотова, студ. ;
 рук. Н.Е. Крымов, к.ф.-м.н. (НИУ МЭИ, Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СЛОЖНОГО ТЕПЛОБМЕНА В СТЕРЖНЕ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается краевая задача, описывающая радиационно-кондуктивный теплообмен в абсолютно черном металлическом стержне круглого сечения:

$$-\operatorname{div}(\lambda \nabla u) = f, \quad x \in G,$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial n} + h(u) = \int_{\Gamma} h(u_{\Gamma}(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi), \quad x \in \partial G.$$

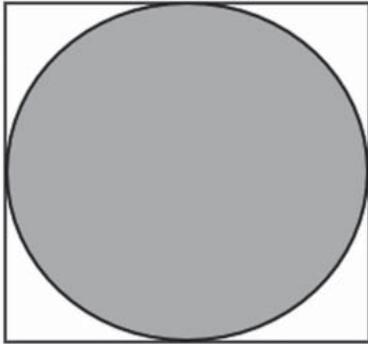


Рис. 1.

Искомой величиной является абсолютная температура $u(x)$, определенная в сечении стержня G единичного радиуса (рис. 1). Здесь λ — коэффициент теплопроводности; $h(u) = \sigma_0 u^4$ — плотность потока теплового излучения; σ_0 — постоянная Стефана-Больцмана; Γ — граница «коробки», в которой находится стержень; φ — элементарный угловой коэффициент.

Рассматриваемая задача решается с помощью метода конечных элементов. В качестве конечных элементов используются кусочно-линейные функции, определённые на сетке из равносторонних треугольников, генерируемой автоматически.

Метод программно реализован. Проведены вычислительные эксперименты, демонстрирующие работоспособность метода.

Литература

1. Марчук Г.И. Введение в проекционно-сеточные методы, 1981.
2. Зигель Р. Теплообмен излучением, 1975.

К.А. Прохожаев, студ.;
рук. Н.Е. Крымов, к.ф.-м.н. (НИУ МЭИ, Москва)

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ

Современные образовательные процессы требуют внедрения автоматизированных решений для повышения качества и скорости обучения. Основной целью данной работы является создание платформы для онлайн-тестирования, ориентированной на работу с математическими заданиями, включая использование LaTeX для ввода и отображения формул.

Разрабатываемый сервис обладает следующими ключевыми функциями:

1. **Редактор с поддержкой LaTeX.** Пользователи могут вводить математические формулы с мгновенным отображением результата. Это упрощает проверку корректности записи и позволяет избегать ошибок форматирования.
2. **Составление тестов.** Платформа поддерживает различные типы заданий: выбор правильного ответа, ввод числовых и текстовых данных, а также полные решения. Преподаватели могут создавать тесты с текстами, формулами и изображениями.
3. **Автопроверка результатов.** Система автоматически проверяет ответы студентов, сравнивая их с эталонными. Для текстовых задач реализована поддержка синонимов и алгоритмов анализа орфографических ошибок.

Система предоставляет преимущества для преподавателей и студентов:

- Преподаватели получают удобный инструмент для составления тестов, анализа статистики ответов и индивидуальных достижений студентов.
- Студенты могут выполнять задания в удобной цифровой форме с возможностью проверки решения в реальном времени.

Литература

1. **Джефф Форсье, Пол Биссекс, Уэсли Дж. Чан.** Django. Разработка веб-приложений на Python.

Е.А. Малицкий, студ.;
рук. А.М. Бирюков, к. физ-мат. н., доцент (НИУ «МЭИ»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОШИ
ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ
В КЛАССАХ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ
С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ МЕТРИКАМИ**

Работа посвящена задаче Коши для систем линейных уравнений с частными производными с комплексными коэффициентами

$$\begin{aligned} u'(t, z) - A(t, z, D)u &= h(t, z), \quad t \in C^1, \quad z \in C^n \\ u(t_0, z) &= \varphi(z). \end{aligned} \quad (1)$$

Где $\varphi(z) \in \text{Exp}_{m,R,q,p}(C^n)$, $h(t, z) \in \langle \delta, \text{Exp}_{m,R,q,p}(C^n) \rangle$.

Пространство решений состоит из целых по z и аналитических по t функций, особенностью которого является то, что тип экспоненциального роста, который могут допускать функции из этого пространства, не зависит от «временной» переменной.

В ходе работы будут исследованы свойства функциональных пространств, в которых устанавливается разрешимость поставленной задачи (1). Далее будут изучены условия, при выполнении которых поставленная задача будет являться локально корректной в заданной шкале функциональных пространств.

Отличие настоящей работы от других работ заключается в том, что здесь рассматривается вопрос о разрешимости комплексной задачи Коши в пространствах с интегральными метриками в многомерном случае. В настоящей работе было установлено, что данные пространства являются банаховыми.

Секция 14

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

Applied mathematics

Председатель секции: д.т.н., профессор Еремеев Александр Павлович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Чернецов Андрей Михайлович

К.О. Сидоров, аспирант; рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА GPT

Модель GPT-1 (Generative Pre-trained Transformer — генеративное преобучение трансформеров) была представлена миру в статье, опубликованной исследователями из OpenAI в 2018 году [1]. Ключевым нововведением данной модели является использование архитектуры декодера трансформера, которая позволяет генерировать текст на основе заданного контекста, что делает её одной из самых мощных моделей для задач генерации текста.

Целью данной работы является исследование основных трудов в истории развития алгоритмов, основанных на технологии декодерной архитектуры, а также поиск доступных реализаций преобученных моделей, в том числе — на русскоязычных текстах.

В работе был проведен анализ основных архитектур нейронных сетей для решения поставленной проблемы. Рассмотрены основные труды, начиная с архитектур GPT-1 до GPT-4 (фактически выпуск GPT-4 — момент, когда исследование технологий начало массово внедряться в различные системы) [2]. Помимо передовых разработок от OpenAI в области декодерных архитектур, также были проанализированы труды других крупных исследовательских лабораторий, например, архитектура Chinchilla AI от Google DeepMind [3] и LLaMA (Large Language Model Meta AI), выпущенная Meta AI [4]. Также проведен анализ доступных преобученных весов и реализаций указанных архитектур, открытых в свободном доступе в сети Internet.

В результате исследовательской работы был составлен краткий обзор основных вех развития декодерной архитектуры. Также были рассмотрены плюсы и минусы различных подходов в зависимости от практической необходимости. Таким образом, понимание этих различий позволяет исследователям и практикам более осознанно подходить к выбору подходящей модели для конкретной задачи.

Литература

1. **Alec Radford, Karthik Narasimhan, Tim Salimans, and Ilya Sutskever.** Improving language understanding by generative pre-training. 2018.
2. **Josh Achiam, Steven Adler, Sandhini Agarwal, Lama Ahmad [et al.].** GPT-4 Technical Report. 2023.
3. **Jordan Hoffmann, Sebastian Borgeaud, Arthur Mensch, Elena Buchatskaya [et al.].** Training Compute-Optimal Large Language Models. 29 Mar 2022.
4. **Hugo Touvron, Thibaut Lavril, Gautier Izacard, Xavier Martinet [et al.].** LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. 27 Feb 2023.

Р.К. Кутдусов, студ.; рук. И.А. Воробьева, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ГРАФОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕРШИН ГРАФА НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Графовые нейронные сети (GNN) являются обобщением сверточных нейронных сетей (CNN). В отличие от методов CNN, методы GNN способны эффективно анализировать данные, представленные в виде сложных взаимосвязанных объектов. Графы описывают связи в социальных, транспортных сетях, молекулярных структурах и многих других системах, где традиционные методы машинного обучения, работающие с регулярными структурами, теряют свою эффективность. Методы GNN позволяют учитывать как свойства отдельных вершин, так и их связей, что делает их незаменимыми для задач классификации, кластеризации и предсказания на нерегулярных графовых структурах.

Основной операцией в CNN является свертка, которая применяется к одинаковым по размеру изображениям. Операция свертки есть взвешенная сумма значений пикселей внутри фильтра, который перемещается по всем пикселям входной картинки. Многократное использование сверток позволяет сети обнаруживать закономерности и строить иерархическое представление изображения. GNN, в свою очередь, использует похожую концепцию, но применяет свертки к графам разного размера, собирая по связям информацию с соседних вершин для обновления скрытого состояния текущей вершины. Этот подход в GNN получил название «передача сообщений» (англ. *message passing*).

В работе рассмотрена задача классификации вершин графа CORA цитирований научных статей из семи тем, связанных с машинным обучением [1]. В CORA 2708 статей (вершин), каждая из которых описывается бинарным вектором из 1433 слов словаря (элемент — признак наличия/отсутствия слова), и 5429 цитат (связей). Для реализации GNN выбрана свертка GraphSAGE (Graph Sample and aggreGatE), использующая механизм «передачи сообщений» [2] в качестве основного. Сеть была обучена на 500 эпохах, точность модели на тестовых данных составила 77,4%.

Метод GraphSAGE показал хорошие результаты в задаче классификации на нерегулярной структуре, что делает метод перспективным для использования в исследовательских и практических целях.

Литература

1. **Mccallum, A.K.** Automating the Construction of Internet Portals with Machine Learning. *Inf. Retr.* 2000, 3, 127–163.
2. **William L. Hamilton, Rex Ying, Jure Leskovec.** Inductive Representation Learning on Large Graphs (2017) // Department of CS SU. Stanford, CA, 94305.

М.А. Самсонова, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СТЕГОАНАЛИЗА ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

Информация с древних времен являлась ценным ресурсом человечества, она передавалась от одних лиц к другим. Данные, передаваемые людьми, требовали защиты от несанкционированного доступа к ним. В связи с этим появились два основных метода защиты информации — криптография и стеганография [1].

В настоящее время стеганография активно развивается в цифровых технологиях, то есть встраивании сообщения в различные виды мультимедийных файлов. Не всегда информация, скрытая с помощью алгоритмов стеганографии, несет в себе безопасную для общества информацию, что в свою очередь привело к появлению алгоритмов обнаружения и получения скрытой информации — стегоанализу [2].

Основными аналитическими методами стегоанализа изображений являются метод хи-квадрат и RS метод. Практически было доказано, что метод хи-квадрат лучше определяет наличие скрытых сообщений при последовательном заполнении контейнера, тогда как RS метод имеет преимущество в нахождении сообщений, скрытых по псевдослучайной методике [2].

С развитием компьютерных технологий для представления информации создавались более совершенные форматы, которые могли содержать в себе не только отдельно текстовую, графическую или информацию иного формата, но и их объединение в определенном формате представления. Примерами такого формата являются электронные документы PDF и DOCX.

В рамках работы создано программное средство, которое позволяет проанализировать изображения внутри PDF и DOCX файлов с помощью алгоритмов стегоанализа, а именно хи-квадрат и RS. Работа созданного средства сравнивалась на документах с различными параметрами стеганографической вставки в изображениях с уже существующими программными средствами стегоанализа — StegExpose, Virtual Steganographic Laboratory for Digital Images и Steganography Райна Гибсона.

Литература

1. **Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю.** Компьютерная стеганография. Теория и практика. «МКПресс», 2006. — 288 с.
2. **Грачев Я.Л., Сидоренко В.Г.** Стегоанализ методов скрытия информации в графических контейнерах. Надежность. 2021;21(3):39–46.

В.Н. Андреева, студ.; рук. П.Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТИРУЕМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ (ХАИ) ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОВЕРИЯ К ИИ-СИСТЕМАМ

С ростом применения искусственного интеллекта (ИИ) в различных сферах возникает необходимость в повышении доверия к ИИ-системам со стороны пользователей и регуляторов. Область интерпретируемого машинного обучения (Explainable AI, XAI) предлагает методы, которые позволяют объяснять результаты моделей машинного обучения и делают их более прозрачными [1].

Для оценки эффективности и применимости в различных задачах современных инструментов XAI, в рамках данной работы проведен сравнительный анализ таких методов, как LIME, SHAP и Grad-CAM. Для исследования была выбрана задача классификации медицинских данных о заболеваниях. Использовались модели на основе градиентного бустинга и свёрточных нейронных сетей, результаты которых анализировались с помощью методов XAI. Для оценки эффективности интерпретации применялись метрики ясности, простоты интерпретации и вычислительной эффективности [2].

По результатам исследования метод SHAP показал наиболее высокую точность и универсальность, однако он требует значительных вычислительных ресурсов. LIME оказался эффективным для задач с текстовыми и табличными данными, но показал меньшую точность на сложных моделях. Grad-CAM зарекомендовал себя как удобный инструмент для интерпретации изображений, но не подходит для текстовых или табличных данных.

Полученные результаты показывают, что выбор метода XAI зависит от специфики задачи и типа данных. Учитывая особенности каждого подхода, можно разработать более универсальное и гибкое решение путем комбинирования различных методов. Внедрение XAI-технологий является ключевым для улучшения взаимодействия между пользователями и ИИ-системами, а также для обеспечения соответствия регуляторным требованиям.

Литература

1. **Gilpin L.H., Bau D., Yuan B.Z., et al.** Explaining Explanations: An Overview of Interpretability of Machine Learning. 2018 IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2018.
2. **Ribeiro M.T., Singh S., Guestrin C.** “Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016.

И.В. Корнев, студ.; рук. П.В. Афонин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЕКТНОГО РАСПИСАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Задачи теории расписаний имеют широкий круг применения в организации проектной деятельности и производства. Большинство задач теории расписаний являются NP-трудными, то есть для решения подобных задач может потребоваться довольно большое время для вычислительных устройств при увеличении размерности. Именно поэтому для решения подобных задач точные методы являются порой очень неэффективными и необходимо использовать эвристические алгоритмы оптимизации [1].

Одной из таких метаэвристик является генетический алгоритм, являющийся гибким инструментом при решении задач глобального поиска, к которой можно привести многие задачи теории расписаний [2]. В основные преимущества генетических алгоритмов входят не только возможность выхода из локальных оптимумов посредством мутации, но и возможность настроить его под решаемую задачу.

В данной работе рассмотрена задача построения проектного расписания с ограничениями по ресурсам (RCPSP), проведен обзор классификации задач теории расписаний [3] и их обобщённых вариантов [4], а также обзор результатов решения схожей задачи [5]. Проведен обзор различных точных и приближенных методов, отмечена актуальность метаэвристических, в частности, генетических алгоритмов, а также рассмотрена разработка программного средства для решения поставленной задачи.

Литература

1. **Гэри М., Джонсон Д.** Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. — 416 с.
2. **Лазарев А.А., Гафаров Е.Р.** Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. — 224 с.
3. **HERROLEN, Willy; DEMEULEMEESTER, Erik; and DE REYCK, Bert.** A classification scheme for project scheduling problems (1999). Project scheduling: Recent models, algorithms and applications. 1–26.
4. **Sönke Hartmann, Dirk Briskorn,** An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem, European Journal of Operational Research, Volume 297, Issue 1, 2022, Pages 1–14.
5. **Афонин П.В., Шашилина К.С.** Разработка и исследование генетического алгоритма для задачи составления расписания проекта с учетом условий предшествования и ресурсных ограничений // Труды Международного Конгресса по Интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS-IT'2012» (Дивноморское, Россия, 2–9 сентября 2012 г.). — М.: Фздатлит, 2012. — Т.1. — С. 53–58.

*О.Ю. Иванов, Д.Е. Шевцов, студ.;
рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗВИТИЕ И ПОДДЕРЖКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ЯЗЫКОВ MULISP/FRL

Работа интеллектуальных систем основана на обработке знаний. Для их представления существует несколько моделей: продукционные правила, семантические сети и фреймы. Язык FRL [1] (Frame Representation Language), являющийся расширением языка Lisp, предназначен для работы с фреймовой моделью представления знаний.

Ранее была разработана кроссплатформенная интегрированная среда разработки (ИСП) [2, 3] для языков muLISP /FRL. Эта ИСП уже используется в образовательном процессе на кафедре ПМИИ НИУ «МЭИ» в рамках дисциплины «Структуры данных и методы программирования», поэтому нуждается в постоянном обновлении функционала и увеличении удобства использования.

Список улучшений включает в себя оптимизацию некоторых алгоритмов, новую функцию — форматирование текста программы, и обновлённую версию интерпретатора muLISP/FRL, которая содержит новый функционал и новые возможности настройки.

Также произошли изменения для стороны разработчика — были обновлены до новых версий инструменты разработки, такие как компиляторы, система сборки и т.д.

Расширена модель распространения — теперь ИСП имеет единую версию для операционных систем Windows и Linux. Получить ИСП можно либо из файла-архива, либо установить с помощью пакетного менеджера (Linux).

Таким образом, эти изменения делают использование ИСП в образовательном процессе более удобным и вариативным, а дальнейшее развитие и разработку легче.

Литература

1. **R. Bruce Roberts, Ira P. Goldstein.** The FRL Manual, MIT 1977 — URL: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/889244>
2. **Д.Е. Шевцов, О.Ю. Иванов.** Разработка интерпретатора языка MULISP/FRL в современных системах // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тр. 29 МНТК студ. и асп. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2023. — С. 216.
3. **A. Chernetsov, O. Ivanov and D. Shevtsov,** “Development and Implementation of FRL Language Interpreter and Integrated Development Environment,” 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–4, doi: 10.1109/Inforino60363.2024.10551944

*Д.Е. Шевцов, О.Ю. Иванов, студ.;
рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ИНТЕРПРЕТАТОРА MULISP/FRL

Язык muLISP является классическим примером языка функционального программирования. Он применяется в задачах исследования и разработки программного обеспечения в области искусственного интеллекта.

Кроссплатформенный интерпретатор muLISP/FRL, разработанный в результате предыдущей работы [1], уже используется в образовательном процессе на кафедре ПМИИ НИУ «МЭИ» в рамках дисциплины «Структуры данных и методы программирования» и нуждается в постоянном расширении функциональных возможностей.

С этой целью в процессе данной работы в интерпретатор были внесены следующие изменения:

1. Добавлена возможность записи данных в файлы для обеспечения полноценной работы с файловой системой;
2. Разработка механизма автоматического прерывания рекурсии;
3. Интеграция с CPython: переход на Python в реализации Command Line Interface (CLI) и при тестировании;
4. Миграция на кроссплатформенный компилятор Clang [2].

Также в ходе работы был спроектирован Foreign Function Interface (FFI) [3], который позволит расширить набор функций за счёт возможностей других языков программирования.

Таким образом, внесённые изменения делают использование интерпретатора более удобным и эффективным в образовательном процессе.

Литература

1. **A. Chernetsov, D. Shevtsov and O. Ivanov**, “Development of a Cross-Platform Interpreter for the muLISP Language,” 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/Inforino60363.2024.10551992
2. Clang C Language Family Frontend for LLVM [Электронный ресурс] // <https://clang.llvm.org> (дата обращения: 17.10.2024).
3. SBCL 2.4.9 User Manual [Электронный ресурс] // <https://sbcl.org/manual/#Introduction-to-the-Foreign-Function-Interface> (дата обращения: 17.10.2024).

А.С. Максимов, студ.; рук. М.В. Раскатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время в компаниях применяется большое количество компьютеров, поэтому удаленный мониторинг за их использованием является востребованным. Такой подход позволяет контролировать рабочий процесс, выявлять утечки данных и повышать общую эффективность работы.

Перед реализацией программы был проведен анализ аналогов. Существующие решения для мониторинга (Стахановец, StaffCop Enterprise, ExpertHome) зачастую платные и сложные в освоении, что делает их недоступными для малых компаний. Кроме того, они не всегда обеспечивают нужные функции, что подчеркивает актуальность разработки нового решения. Исследование рынка операционных систем показало, что около 75% пользователей ПК выбирают Windows. В связи с этим для мониторинга системы и действий пользователей в данной ОС были рассмотрены различные инструменты отслеживания процессов и работы сети [1], в том числе технологии .NET Framework и WMI (англ. Windows Management Instrumentation) [2], позволяющие эффективно управлять и контролировать работу ПК на программном уровне.

Реализация системы осуществлялась на языке программирования C# с использованием фреймворка .NET. Были исследованы способы программного управления операционной системой Windows с помощью технологии WMI. Осуществлено выполнение следующих функций: отслеживание запущенных процессов, возможность их завершения; мониторинг посещения интернет страниц; логирование ввода с клавиатуры; сбор информации об аппаратных составляющих устройства; контроль активности (загрузка оперативной памяти и памяти на жестких дисках, возможность перезагрузки ПК и его принудительное выключение).

В процессе разработки была создана программа, которая успешно решает задачи отслеживания пользовательской активности в локальной сети. Тестирование показало высокую точность сбора данных и стабильную работу программы при выполнении задач мониторинга.

Литература

1. **Попов, А.** Администрирование Windows / А. Попов — СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
2. Управление с помощью Windows Management Instrumentation [Электронный ресурс]. — URL: <http://onreader.mdl.ru/WindowsServerAutomationCookbook.4th/content/Ch15.html> (Дата обращения 15.04.2023).

*Д.С. Рославцова, студ.;
рук. В.С. Ижуткин, д.ф-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАРЯДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Современные проблемы роста энергопотребления, истощения ресурсов и необходимости сокращения выбросов CO_2 требуют создания эффективных систем управления энергией. Одним из ключевых элементов таких систем является математическое моделирование зарядных станций для электромобилей, что позволяет оптимизировать их работу, снижая нагрузку на энергосистему и обеспечивая стабильное электроснабжение. Настоящая работа посвящена разработке визуализированной компьютерной модели зарядной станции, направленной на эффективное распределение энергии и минимизацию затрат на основе подбора параметров процессов. Математическая модель включает три уравнения, описывающие процессы зарядки, распределения мощности и влияние внешних факторов [1].

Первое уравнение описывает динамику зарядки аккумуляторов (1):

$$\frac{dQ}{dt} = (\alpha Q - \beta \cdot Q), \quad (1)$$

где Q — уровень заряда аккумулятора, P — мощность зарядной станции, α — коэффициент зарядки, β — коэффициент потерь.

Второе уравнение описывает баланс мощности на станции (2):

$$\frac{dP}{dt} = \gamma D - \delta P, \quad (2)$$

где D — спрос на зарядку, γ — коэффициент распределения нагрузки, δ — коэффициент регулировки мощности.

Третье уравнение модели описывает влияние внешних факторов, таких как сеть и погодные условия, на работу станции (3):

$$\frac{dL}{dt} = \frac{L^2}{T(t)}, \quad (3)$$

где L — нагрузка на сеть, $T(t)$ — временной параметр, связанный с изменением внешних условий.

Литература

1. **Бабушкин Д.Г., Сидоров К.М.** Трехфазные инверторы для систем автономного электроснабжения и зарядной инфраструктуры: обзор схемных решений и компьютерное моделирование // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2020. № 2 (24). С. 3.

*М.Н. Гольцов, студент;
рук. В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЦИОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ БЛЭКА-ШОУЛЗА, БЕЙТСА И ХЕСТОНА

Динамическое моделирование опционов приобретает все большую значимость в современной финансовой практике из-за необходимости точной оценки стоимости производных инструментов и управления рисками на волатильных рынках. Классические подходы часто не учитывают стохастическую природу волатильности и скачки цен, что ограничивает их применимость в условиях нестабильности.

Рассматриваются три модели с разными особенностями: модель Блэка-Шоулза [1] предполагает постоянную волатильность и нормальное распределение доходностей; модель Бейтса [2] добавляет компонент скачков для учета резких изменений цен, таких как кризисы или новости; модель Хестона [3] вводит стохастическую волатильность, отражающую изменчивость рыночных условий.

Исследование направлено на создание компьютерной модели для визуализации динамики стоимости опционов при различных параметрах. Интерфейс будет включать интерактивные элементы, такие как ползунки для настройки волатильности, коэффициентов дрейфа и интенсивности скачков. Это позволит анализировать чувствительность моделей к разным рыночным сценариям и оценивать влияние параметров на стоимость опционов.

Для дополнения технического анализа планируется использование методов обработки естественного языка (NLP) в финансовом анализе. На основе данных о настроениях и новостях из различных источников будут разработаны нейросетевые модели для анализа текстов, способные определять настроения, влияющие на динамику рынков. Комбинация технического и информационного анализа позволит точнее оценивать стоимость опционов и прогнозировать рыночные тенденции.

Литература

1. **Пахновская Н.М., Мишурова А.И.** Особенности использования модели Блэка — Шоулза в оценке эффективности инвестиционных проектов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. № 7 (478).
2. **Белявский Г.И., Данилова Н.В.** Модели с неопределенной волатильностью // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование*. 2023. №3.
3. **Лужецкая П.А., Кудрявцев О.Е.** Вычисление цен опционов в моделях со стохастической волатильностью // *ИВД*. 2020. № 5 (65).

*И.О. Косилов, студент;
рук. В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ДЕФОЛТА ФИРМ

В данной работе рассматриваются различные подходы к оценке вероятности дефолта фирм, что является одной из центральных задач в управлении кредитными рисками. Точное прогнозирование вероятности дефолта фирмы, то есть вероятность того, что она не выполнит свои долговые обязательства, позволяет минимизировать финансовые риски и принимать более взвешенные решения о предоставлении кредитов. Для достижения этой цели в исследовании выбраны три математических модели для сравнения.

Модель Мертона [1], основанная на структурном подходе, предполагает, что дефолт наступает в случае, если стоимость активов компании падает ниже уровня ее обязательств. Этот подход опирается на теорию опционов и использует такие параметры, как текущая стоимость активов, сумма долговых обязательств и волатильность стоимости активов.

Модель Васичека [2], в свою очередь, сосредоточена на стохастическом поведении процентных ставок. В основе этой модели лежит предположение о том, что процентные ставки изменяются случайным образом, оказывая влияние на способность фирмы обслуживать свой долг.

Нейросетевая модель [3] использует современные методы машинного обучения для анализа больших объемов данных и поиска сложных, нелинейных зависимостей между параметрами, влияющими на вероятность дефолта. Машинное обучение позволяет выявить скрытые закономерности, которые могут быть упущены в традиционных моделях.

В работе, на основе компьютерных моделей, проводится сравнение этих подходов по ряду критериев, включая точность прогнозов и применимость в различных экономических условиях. Так же предполагается рассмотрение решающего ансамбля, который объединяет эти методы на основе подбора оптимальных параметров кредита для фирм.

Литература

1. **Роберт М.** Ценообразование опционов в условиях прерывистой доходности акций // Журнал финансовой экономики. 1976. № 3. С. 125.
2. **Vasicek O.** An equilibrium characterization of the term structure // Journal of Financial Economics. № 5 (2). С. 177.
3. **Ясницкий Л.Н., Иванов Д.В., Липатова Е.В.** Нейросетевая система оценки вероятности банкротства банков // Бизнес-информатика. 2014. № 3. С. 49.

М.Н. Абросимова, студ.;
рук. И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ АННОТИРОВАНИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотирование — это процесс аналитико-синтетической переработки информации первичного документа, целью которого является получение обобщенной характеристики документа, раскрывающей его логическую структуру, наиболее существенные стороны содержания и достоинства. Интерес к автоматическому аннотированию обусловлен ростом объёма электронных данных, который делает выбор релевантной информации сложной задачей. Цель данной работы — исследование и реализация методов аннотирования текста с применением нейронных сетей.

В работе были изучены методы аннотирования текста на основе абстракции и извлечения, а также автоматизированное авторское аннотирование. Для оценки качества аннотирования использовался метод ROUGE, который сравнивал сгенерированную аннотацию с эталонной [1].

Были исследованы методы предобработки текста, рассмотрены способы представления категориальных данных в виде числовых, была осуществлена векторизация текстов для их дальнейшей обработки с помощью seq2seq модели [2]. В рамках работы была реализована и протестирована нейронная сеть для автоматического аннотирования текста.

В программной реализации использовался датасет Gazeta Summaries, собранный на основе российских новостей. Каждая строка файла представляла собой объект JSON с пятью полями: URL, заголовок, текст, аннотация и дата.

Были выполнены вычислительные эксперименты на разных наборах данных и приведена интерпретация результатов работы алгоритмов. Наилучший результат аннотирования был достигнут при обучении на 50 эпохах и размере обучающего множества 50 000. Точность модели на тестовых данных составила 71,2%.

Использование seq2seq подхода к машинному обучению демонстрирует хорошие результаты в задаче аннотирования текста, что подтверждает перспективность метода как для исследовательских, так и для практических задач.

Литература

1. **Lin C.Y.** Rouge: A package for automatic evaluation of summaries // Text summarization branches, 2004.
2. **Jiang J. et al.** Enhancements of Attention-Based Bidirectional LSTM for Hybrid Automatic Text Summarization, 2021, vol. 9.

Р.Ю. Николаев, студ.; рук. И.С. Кружилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ LSTM С ЕЕ МОДИФИКАЦИЕЙ MIN-LSTM С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Рекуррентные нейронные сети (RNN) являются классической архитектурой, используемой для обработки и генерации текста. Они обладают высокой скоростью инференса, и не требовательны по сравнению с популярными архитектурами на основе трансформеров, как во время обучения, так и во время работы. Это актуально для использования на мобильных и маломощных устройствах. Однако особенности рекуррентной архитектуры вынуждают алгоритм обратного распространения сквозь время (BPPT) выполняться последовательно, что увеличивает время обучения многократно, и не позволяет эффективно использовать компьютерные ресурсы. Новая архитектура minLSTM [1] разработана для того, чтобы частично распараллелить вычисления и, тем самым, ускорить процесс обучения модели.

Стандартная архитектура LSTM содержит несколько векторов вентилях (gates) для контроля забывания данных, а также векторы состояния. Но каждый вектор при расчете, должен полагаться на данные предыдущей итерации, таким образом исключая возможность распараллеливания. Модель minLSTM предлагает отказаться от вектора состояния, одного из вентилях и использования предыдущих данных для подсчета новых. При таком подходе уменьшается число параметров с $O(4d_h(d_x + d_h))$ до $O(3d_h d_x)$, а большую часть данных для каждого элемента последовательности можно рассчитать параллельно, не взирая на остальные данные. Но даже модифицированная модель содержит вектор выходных данных, который зависит от предыдущих значений, что не дает полной параллельности при обучении.

Чтобы провести сравнение скорости работы новой модели с ее стандартной архитектурой используется набор данных из последовательностей длиной 512 элементов. В ходе тестов было выявлено, что minLSTM при меньшем наборе параметров, работает быстрее чем LSTM.

Полученные результаты показывают, что модифицированная модель зарекомендовала себя не только как более быстрый вариант RNN, но и еще требующий меньше времени на обучение так как элементы обрабатываются одновременно.

Литература

1. **Feng L., Tung F., Ahmed M.O., et al.** Were RNNs All We Needed? // arXiv preprint arXiv:2410.01201. — 2024.

М.И. Ефремов, студ.; рук. И.С. Кружилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ВИДЕОФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ MEDNEXT

С ростом интереса к использованию архитектур на базе трансформера для классификации медицинских изображений и видео возникает проблема большого времени обучения сети, а также необходимость наличия огромного набора данных. В таких условиях сверточные нейронные сети показывают высокие результаты благодаря своим индуктивным смещениям, обеспечивающим устойчивость обучения, однако они уступают по качеству сетям архитектур на базе трансформера [1].

В данной работе предложен гибридный подход, использующий плюсы сверточной нейронной сети MedNeXt [2] и архитектуры на базе трансформера Swin [3]. Для оценки работы предложенной модели по сравнению с базовыми моделями, такими как ResNet 3D и Swin Video, был проведен ряд экспериментов с использованием данных КТ и МРТ, охватывающих разные объемы выборок. Во время экспериментов каждая модель была обучена на идентичных наборах данных для обеспечения справедливости сравнения. Кроме того, важной составляющей анализа была оценка вычислительных затрат, включая время обучения и использование ресурсов памяти.

Проведенные эксперименты показали, что полученная архитектура демонстрирует высокую эффективность в решении задач классификации на КТ и МРТ данных в сравнении с базовыми моделями, такими как ResNet 3D и Swin Video. Эти результаты подчеркивают преимущества предлагаемой архитектуры, открывая перспективы для дальнейшего совершенствования методов классификации в медицинских задачах.

Литература

1. **Cordonnier J.-B., Loukas A., Jaggi M.** Convolutional Networks Fail to Capture Long-Range Dependence in Images. Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations (ICLR), 2020.
2. **Saikat R., Koehler G., Ulrich C.** MedNeXt: Transformer-driven Scaling of ConvNets for Medical Image Segmentation. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2023.
3. **Liu Z., Lin Y., Cao Y. et al.** Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2021.

*И.Р. Хуснетдинов, студ.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫБОРА ВЕКТОРОВ ПОИСКОВОЙ ДОПОЛНЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРИ РАБОТЕ С БОЛЬШИМИ ЯЗЫКОВЫМИ МОДЕЛЯМИ

При работе с большими языковыми моделями, для получения результата, содержащегося в закрытой (под закрытой подразумевается не использовавшаяся при обучении модели) базе знаний, широко используется поисковая дополненная генерация (RAG). Целью данной техники является разбиение информации на части и преобразование полученных частей в векторы, затем векторы из базы знаний ранжируются и несколько наиболее совпадающих из них подаются на вход модели в декодированном виде вместе с запросом пользователя. Как правило, выбор векторов производится при помощи сравнения по косинусному или евклидову расстоянию векторов БЗ и вектора пользовательского запроса или созданием модели обучения с учителем для ранжирования векторов.

Векторы на выходе модели-кодировщика в рамках одной задачи, как правило, имеют одинаковую размерность, что делает эти векторы удобными для топологического анализа. Целями топологического анализа являются: представление объектов анализа в виде облаков точек, обнаружение скрытых структур, таких как кластеры, выбросы и другие геометрические особенности. Преимущества данного подхода в том, что он позволяет создавать ёмкие и устойчивые признаки, обеспечивая как минимум более качественную кластеризацию рассматриваемых объектов.

С целью поиска скрытых закономерностей в выходных данных языковой модели-кодировщика, в данной работе были предложены и реализованы методы получения облаков точек из векторов. Были построены персистентные диаграммы облаков и на их основе сгенерированы робастные ёмкие признаки. Были разработаны алгоритмы выбора векторов на основе кластеризации таковых с использованием сгенерированных признаков. Было проведено сравнение результатов работы предложенных методов с результатами работы часто используемых методов выбора наиболее релевантных векторов.

Литература

1. **D. Tamal, Yusu Wang.** Computational topology for data analysis. — Cambridge University Press. 2016–2021.
2. **J. Alammari, M. Grootendorst.** Hands-on Large Language Models. — O'Reilly 2024.

Е.И. Филиппов, студ.;
рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУТБОЛЬНЫХ МАТЧЕЙ

В современном мире машинное обучение активно развивается и находит применение в самых разных областях, в том числе и в спортивной аналитике. В этой сфере футбол занимает особое место, так как это самый популярный вид спорта в мире. Прогнозирование результатов футбольных матчей — это задача, которая всегда привлекала внимание как любителей спорта, так и профессиональных аналитиков. С развитием машинного обучения появилась возможность решать эту задачу с помощью различных алгоритмов и методов.

В данной работе исследованы и реализованы модели прогнозирования с использованием четырех популярных алгоритмов машинного обучения: логистической регрессии, метода опорных векторов (SVM), случайного леса и метода *k* ближайших соседей (kNN). В ходе исследования проведен анализ данных о футбольных матчах, включая результаты, статистику команд в различных турнирах и индивидуальные показатели игроков.

Практическая часть работы заключается в создании модели прогнозирования результатов футбольных матчей, включающей этапы сбора данных, обучения моделей и интеграции прогнозов в Telegram-боте. Для каждой модели была проведена оценка на основе метрик точности, а также произведено тестирование на реальных данных футбольных сезонов. По результатам тестирования наиболее эффективным алгоритмом для прогнозирования результатов футбольных матчей был признан метод логистической регрессии.

В ходе работы также было проведено сравнение полученных результатов с прототипами других авторов, занимающихся аналогичными исследованиями [1–2]. Сравнение показало, что разработанные модели прогнозирования демонстрируют конкурентоспособные результаты.

Литература

1. **Kempa, M.** Machine Learning Algorithms for Football Predictions // Towards Data Science, 2020.
2. **Ren Y., Susnjak T.** Predicting Football Match Outcomes with explainable Machine Learning and the Kelly Index // School of Mathematical and Computational Sciences, Massey University, Auckland, New Zealand, 2022.

А.А. Пермяков, студ.; рук. И.С. Кружилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ ОБУЧЕНИЯ И РАЗМЕРОМ БАТЧА

В каждой итерации стохастического градиентного спуска для обновления весов модели используется часть набора данных, определяемая гиперпараметром — размером батча (англ. batch size). Это делает вычисляемый градиент аппроксимацией истинного. Малый размер батча может замедлить обучение и затруднить распараллеливание. Большой размер батча, с другой стороны, может привести к переполнению памяти, потере обобщающей способности и ухудшению результата [1].

Целью данной работы является исследование зависимости между скоростью обучения и размером батча при условии сохранения высокой точности и обобщающей способности модели с возможностью добавления более эффективного распараллеливания процесса обучения. Правильно подобранный размер батча может оказаться ключевым шагом для успешной работы нейронной сети. В экспериментах ставится задача классификации с использованием набора данных CIFAR-10 и модели ResNet-18.

В данной работе был проведён сравнительный анализ подходов к выбору правил масштабирования скорости обучения при изменении размера батча. Например, в исследовании [2] утверждается, что при увеличении размера батча в k раз скорость обучения должна быть увеличена в \sqrt{k} раз, в то время как в [3] применяется линейное масштабирование. Экспериментально было показано, что зависимости, предложенные в этих работах, несостоятельны в исследуемой задаче. Поэтому мы предложили собственный закон масштабирования скорости обучения при изменении батча.

Таким образом, были проведены эксперименты по выявлению закона масштабирования скорости обучения при изменении значения батча. По проделанным экспериментам была построена функция изменения скорости обучения. Также был проведен сравнительный анализ существующих исследований.

Литература

1. **Nitish Shirish Keskar, Dheevatsa Mudigere, Jorge Nocedal, Mikhail Smelyanskiy, and Ping Tak Peter Tang.** On large-batch training for deep learning: Generalization gap and sharp minima, 2016.
2. **Alex Krizhevsky.** One weird trick for parallelizing convolutional neural networks, 2014.
3. **Priya Goyal, Piotr Doll'ar, Ross B. Girshick, Pieter Noordhuis, Lukasz Wesolowski, Aapo Kyrola, Andrew Tulloch, Yangqing Jia, and Kaiming He.** Accurate, large minibatch SGD: training imagenet in 1 hour, 2017.

М.С. Сергеев, студ.; рук. А.В. Кожевников, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКУСА И КАЧЕСТВА ЕДЫ РЕСТОРАНА ПО ОТЗЫВАМ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ NLP ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА

С использованием современных технологий и возможностей машинного обучения становится возможным более эффективно и объективно оценивать качество ресторанов на основе отзывов. Эта тема является актуальной в современном мире, где отзывы играют решающую роль в выборе места для посещения. При помощи машинного обучения и анализа больших объемов данных можно улучшить объективность рейтингов ресторанов, что представляет интерес как для потребителей, так и для предпринимателей в сфере общественного питания.

В рамках работы описаны принципы работы NLP моделей классификации текста [1], особое внимание уделяется NLP модели BERT [2], разработанной Google AI в 2018 году.

Для реализации решения был использован язык программирования Python, фреймворк для машинного обучения PyTorch и библиотека Transformers. Для этой задачи была выбрана предобученная NLP модель BERT с 12 миллионами параметров. Для завершения модели был добавлен полносвязный слой, количество входов которого соответствует внутренней размерности эмбединга сети, а выход к числу классов для классификации. В данной задаче происходит классификация на 4 класса, а внутренняя размерность равна 512.

Для обучения и тестирования модели был составлен датасет, состоящий из отзывов с сайта <https://www.tripadvisor.ru/>. Было взято 1050 отзывов о ресторанах, с различными направлениями в еде (европейская кухня, русская кухня и др.), и вручную размечено в зависимости от вкуса и качества еды, описанных в данных отзывах.

В результате работы модели с небольшим набором данных точность достигает 75.5%, вследствие чего можно сделать вывод об эффективности применения предложенной модели для решения поставленной задачи классификации текстов отзывов пользователей.

Литература

1. **Хобсон Л.** Обработка естественного языка в действии / Лейн Хобсон, Халке Ханнес, Ховард Коул; [перевели с английского И. Пальги, С. Черников]. — Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2020. — 575 с.
2. **Horev R.** BERT Explained: State of the art language model for NLP / Rani Horev [Электронный ресурс] // [towardsdatascience.com](https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270): [сайт]. — 2018. — URL: <https://towardsdatascience.com/bert-explained-state-of-the-art-language-model-for-nlp-f8b21a9b6270>

И.С. Трофимов, студ.;
рук. О.В. Бартеньев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ МЯГКОЙ ПОСАДКИ СПУСКАЕМОГО МОДУЛЯ НА ЛУНУ

Оптимальное управление (ОУ) спускаемого модуля (СМ) на последнем вертикальном участке приземления спускаемого модуля представляет собой вертикальное свободное падение вначале и затем торможение при максимально допустимом значении тяги двигателей. Традиционно математическая модель посадки с ОУ представляет собой краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

В рамках работы был представлен альтернативный подход к решению задачи ОУ — применение искусственной нейронной сети, использующей обучение с подкреплением, для поиска оптимальной политики управления СМ [1]. Дополнительно была реализована компьютерная модель СМ с несколькими двигателями и автоматически генерируемая, с помощью шума Перлина [2], имитация поверхности Луны. Все модели были разработаны с помощью движка Unity [3].

В качестве архитектуры нейронной сети был выбран многослойный перцептрон, имеющий 11 входных нейронов (3 координаты вектора поворота, по 3 координаты линейной и угловой скоростей, высота и признак приземления), 3 скрытых слоя по 64 нейрона и 6 выходных нейронов (3 координаты для управления поворотом и 3 координаты для управления сдвигом СМ). Алгоритм обучения — proximal policy optimization [4]. Для эффективного обучения агента была предложена следующая функция награды:

$$R(v, \omega, \gamma) = \left(\frac{1}{(v-v_{max})^2+1} - 1 \right) + \left(\frac{1}{\omega^2+1} - 1 \right) + \tan^{-1}(\cos \gamma) \quad (1)$$

где v , ω — модули текущей линейной и угловой скорости, γ — угол отклонения от вектора нормали.

В результате работы продемонстрирована принципиальная возможность использования нейросетевых алгоритмов для управления посадки СМ на поверхность Луны и других безатмосферных небесных тел.

Литература

1. **Сагтон С.Р. и Барто Э.Дж.** Обучение с подкреплением: Введение [Книга]. — Москва: ДМК Пресс, 2020.
2. **Juliani Arthur [и др.]** Unity: A General Platform for Intelligent Agents [Журнал]. — [б.м.]: arXiv preprint arXiv:1809.02627, 2020 г.
3. **J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, A. Radford, and O. Klimov,** “Proximal policy optimization algorithms,” arXiv.org, <https://arxiv.org/abs/1707.06347>, arXiv:1707.06347, 2017 г.

М.Ю. Чуворкин, студ.;
рук. О.В. Бареньев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИЛОЖЕНИЯ «МУЗЫКАЛЬНЫЙ СЕПАРАТОР»

Музыкальные записи в основном представляются потребителю в виде стерео-фонограмм, в каждом канале которых содержатся сведенные дорожки исходных записей музыкальных инструментов. Задача создания такой фонограммы относительно проста, и может быть произведена как аппаратными, так и программными средствами. Обратная же задача получения из сведенной фонограммы звуковых дорожек, соответствующих каждому инструменту или группе инструментов неразрешима, однако активно разрабатываются методы приближенного решения.

Как показывают исследования [1], одним из наиболее успешных методов решения такой задачи является применение искусственных нейронных сетей. В качестве попытки решения данной задачи разработано приложение на основе нейронной сети «Музыкальный сепаратор».

Данное приложение позволяет получить осязаемое на слух выделение 4 групп инструментов: барабаны, бас, вокал, группа «все остальное». В качестве входных данных есть возможность использовать аудио-форматы: wav [2], flac, mp3. В ходе работы создано несколько моделей нейронной сети, которые имеют различную архитектуру и обладают различными характеристиками качества выделения (по метрике SDR [3]), требований к ресурсам и времени выполнения. Графический интерфейс пользователя разработан с использованием фреймворка PyQt5 [4] и позволяет пользователю выбрать модель нейронной сети, разделить на источники выбранные стерео-фонограммы, прослушать результат.

Это приложение может быть использовано в обучении музыкантов, в качестве инструмента для создания композиций на основе материала из других композиций, а также для создания возможности дальнейшего анализа аудиосигнала отдельных источников.

Литература

1. **Y. Luo and J. Yu**, “Music Source Separation With Band-Split RNN” // *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 31, pp. 1893–1901, 2023, doi: 10.1109/TASLP.2023.3271145
2. **Multimedia Programming Interface and Data Specifications 1.0**. 1991 [Электронный ресурс] // <https://www.mmsp.ece.mcgill.ca/Documents/AudioFormats/WAVE/Docs/riffmci.pdf> (дата обращения 29.10.2024).
3. **Mitsufuji Y., Fabbro G., Uhlich S., Stöter F.-R.** “Music demixing challenge 2021” // *Frontiers in Signal Processing* 1. 2022. doi: 10.3389/frsip.2021.808395
4. **Qt for Python** [Электронный ресурс] // <https://doc.qt.io/qtforpython/> (дата обращения 29.10.2024).

*П.А. Орлов, студент;
рук. А.В. Кожевников, канд. техн. наук (НИУ «МЭИ»)*

КРЕДИТНЫЙ СКОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ С УЧЁТОМ ТЕКУЩЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

Кредитный скоринг является одним из важнейших инструментов для оценки кредитоспособности заёмщиков и управления рисками в банковской сфере. Традиционные методы кредитного скоринга часто полагаются на жёсткие пороговые значения и бинарные решения, что может приводить к недостаточной гибкости и адаптивности в условиях быстро меняющейся экономической обстановки.

В данной работе предлагается инновационная модель [1] кредитного скоринга, основанная на дереве решений, узлы которого используют нечеткую логику для принятия решений. Нечеткая логика [2] позволяет работать с неопределённостью и нечёткой информацией, что характерно для финансовых данных, и обеспечивает более плавные переходы между различными классами рисков.

В рамках исследования планируется разработка компьютерной реализации модели с использованием современных инструментов машинного обучения и систем нечеткого вывода. Будет проведён сравнительный анализ эффективности предлагаемой модели с традиционными методами кредитного скоринга на реальных финансовых данных. Критериями оценки станут показатели точности прогнозирования, уровень дефолтов, а также устойчивость модели к изменениям экономической конъюнктуры.

Ожидается, что применение дерева решений на основе нечеткой логики с учётом текущей экономической ситуации позволит значительно повысить точность и надёжность кредитного скоринга [3]. Это, в свою очередь, способствует снижению кредитных рисков для финансовых учреждений, улучшению управления кредитным портфелем и повышению общей эффективности банковской деятельности.

Литература

1. **Бережной М.А., Максимова Н.Н.**, Обзор моделей для оценки кредитоспособности физических лиц // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. 2020. № 89.
2. **Лебедева М.Е.**, Нечеткая логика в экономике — формирование нового направления // Идеи и идеалы. 2019. № 1-1.
3. **Ozerova M.I., Zhigalov I.E.** Application of fuzzy logic to assess banks' credit risk // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. № 2.

Н.В. Малахов, студ.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННО ФОРМИРУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОВЕСТОК

В связи со значительным развитием технологии генеративного искусственного интеллекта, в частности больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), появилось большое число инструментов для создания искусственных, нередко вредоносных информационных повесток.

Сервисы генерации текста и изображений стали общедоступными, а используемые ими модели ежедневно улучшаются, в то время как информационный поток с каждым годом всё больше характеризуется высоким темпом смены нарративов и идей, при котором нередко пренебрегается установкой истинности высказываний и подлинности источников. Помимо этого, желаемые тезисы легко реплицировать при помощи автоматизированных ботов или специально нанятых людей-копирайтеров, чей процент среди глобального интернет-трафика растет на протяжении нескольких лет [1]. Данные условия поспособствовали появлению в сети Интернет контента, сгенерированного с помощью ИИ, и распространяемого авторами в различных целях — от продвижения различных товаров подделанными отзывами, до продвижения мнений в рамках психологических операций [2].

В данном докладе проводится поиск и анализ способов определения искусственно сгенерированной информации, распространяемой на популярных общедоступных интернет-площадках. Особое внимание в докладе посвящено постановке критериев достоверности различных текстов, и возможности использования данных параметров для построения собственной языковой модели, классифицирующей текстовую информацию.

Литература

1. Imperva: боты захватили половину интернета в 2023 году. [Электронный ресурс] // SecutityLab.ru. 2024. 17 апреля. URL: <https://www.securitylab.ru/news/547558.php> (дата обращения: 10.11.2024).
2. Artificial influencers and the dead internet theory. [Электронный ресурс]. // AI & Society. 2024. 05 февраля. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-023-01857-0> (дата обращения: 20.10.2024).

К.С. Маслова, асп.; рук. М.И. Дли, д.т.н., проф. («НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ЭКЗОСКЕЛЕТАМИ

Активный экзоскелет представляет собой электромеханический объект, обладающий сложной структурой управления, это обуславливает актуальность автоматизации процесса внедрением интеллектуальных систем с применением нейронных сетей. Важным аспектом для качественного функционирования системы управления экзоскелетом является учет технических параметров модели, биомеханики движения и внешних воздействий [1]. Особенностью объекта является необходимость взаимодействия механизма с человеком, являющимся его оператором в режиме реального времени, и учет при работе факторов неопределенности окружающей среды. Данная задача требует разработки адаптивных алгоритмов на основе технологии нейронных сетей. Использование обратной связи, получаемой при совершении движения системой человек-экзоскелет позволит производить самообучение интеллектуальной системы управления и совершенствовать работу механизма.

Уровень безопасности эксплуатации экзоскелета и повышение комфорта пользователя в процессе ходьбы зависит от качества стабилизации механизма во внешних условиях. Проведенное исследование показывает, что этого можно достичь при совершенствовании модели прогнозирования силы взаимодействия между оператором, а на это влияет качественное обучение технологий нейронных сетей.

Перспектива использования интеллектуальных систем с применением нейронных сетей в возможности получения аппроксимирующих функций, которые могут описать происходящие процессы с известной точностью. Данная особенность будет способствовать упрощению регулировки активного экзоскелета, ускорит процесс обработки входящей информации, и повысит качество реализации управления.

Литература

1. **A.O. Blinov** Using neural-fuzzy inference to control the functioning of a human-machine system in the form of an exoskeleton with links of variable length, taking into account the effects of lag and synchronization of electric drives / A.O. Blinov, V.O. Blinov, M.G. Kulikova, K.S. Maslova // Third International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST-III 2023), Dushanbe, 25–27 октября 2023 года. Vol. 12986. — Washington: SPIE-SOC PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS, 2024. — P. 129860Y. — DOI 10.1117/12.3017812. — EDN TZJBAQ

П.Ю. Анфилатова, студ.;
рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Онтология — это формально представленные на базе концептуализации знания [1]. Онтология состоит из терминов (концептов), их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода. Онтологии играют ключевую роль в структурировании данных и обеспечении их семантической интероперабельности.

На данный момент активно используется подход, основанный на формальных языках описания онтологий, таких как RDF (Resource Description Framework), представляющий утверждения о ресурсах в виде триплетов: субъект, предикат, объект, что делает их удобными для машинной обработки, и OWL (Web Ontology Language), являющийся рекомендованным языком описания онтологий для семантической паутины. RDF и OWL обеспечивают стандартные механизмы для представления и интеграции знаний, что позволяет использовать онтологии в различных предметных областях.

Основные преимущества использования онтологий включают:

- способность моделировать сложные системы и адаптироваться к изменениям данных;
- обеспечение интеграции разнородных источников информации;
- автоматизация процессов анализа данных за счет семантических связей.

Наиболее популярным инструментом для работы с онтологиями является Protégé — свободно распространяемый фреймворк для построения баз знаний [2].

Данная работа посвящена разработке отечественного аналога и изучению возможностей улучшения функциональности современных онторедакторов, а также методов повышения автоматизации создания онтологий. С использованием языка программирования C# и библиотеки dotNetRDF выполнена реализация базовых программных средств онтологического проектирования для организации представления знаний.

Литература

1. **Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем. — С-Пб.: Питер, 2000. — 384.
2. Protégé [Электронный ресурс]. URI: <https://protege.stanford.edu/> (дата обращения 26.10.2024).

А.А. Вавилова, студ.;
рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ

Аппарат нечетких множеств и нечеткой логики [1] позволяет эффективно работать с неопределенностью и неточностью в исходных данных и экспертных знаниях, что делает его востребованным при разработке систем искусственного интеллекта, ориентированных на задачи принятия решений, прогнозирования и анализа данных. В настоящее время существует острая необходимость в разработке отечественных программных средств для моделирования гибких систем [2], на основе аппарата нечетких логик, поддерживающих их разработку и настройку основных компонентов, что позволяет адаптировать эти системы к разнообразным задачам и потребностям.

Разработанное программное средство с использованием языка программирования Python, фреймворка Streamlit и библиотеки scikit-fuzzy предоставляет пользователю следующие ключевые возможности:

- удобный интерфейс для создания и редактирования лингвистических (нечетких) переменных;
- настройку функций принадлежности с возможностью выбора типа и параметров;
- определение и визуализация нечетких правил, позволяющие пользователю легко интерпретировать связи между переменными;
- систему нечеткого вывода по методу Мамдани и методу Сугено.

Разработанное программное средство может найти широкое применение в учебных и научных целях при решении целого ряда задач в различных предметных областях (например, для управления, прогнозирования и принятия решений, диагностики и классификации на основе нечетких данных) [3].

Литература

1. **Zadeh L.A.** Fuzzy Sets // Information and Control. — 1965. — Vol. 8. № 3. P. 338–353.
2. **Горбаченко В.И., Ахметов Б.С., Кузнецова О.Ю.** Интеллектуальные системы: нечеткие системы и сети. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 105 с.
3. **P. Varshavskii, A. Sesin and M. Bashlykov,** «Implementation of a System for Teaching the Basics of Fuzzy Logic Inference Systems and Fuzzy Case-Based Reasoning.» 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/Inforino60363.2024.10551887.

*В.С. Петров, аспирант;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НЕЧЁТКОГО КОНСЕРВАТИВНОГО Q-ОБУЧЕНИЯ

Обучение с подкреплением (RL-обучение) [1] представляет собой метод машинного обучения, который основывается на обучении модели через взаимодействия исполнителя (агента) со средой.

В работе рассматривается реализация агента, использующего алгоритм нечёткого консервативного Q-обучения (FCQL) [2], как пример эффективного подхода к интеграции нечёткой логики в методы обучения с подкреплением для применения в интеллектуальных системах реального времени (ИС РВ) [3], в частности, в системах поддержки принятия решений, используемых для управления и мониторинга сложных технических систем.

Алгоритм FCQL — это нечёткая версия консервативного Q-обучения (CQL), который является методом оффлайн обучения с подкреплением, и устраняет проблемы, связанные с распределительным сдвигом действий и завышением оценок Q-функции. Основной проблемой Q-обучения является переоценка Q-значений для действий, не представленных в обучающем наборе данных. CQL минимизирует эти значения, что приводит к более точным оценкам. Эксперименты на модельных задачах показывают, что CQL значительно превосходит метод Q-Learning по полному суммарному вознаграждению.

В работе проведен сравнительный анализ на модельных задачах алгоритма FCQL с алгоритмом FQL [4]. максимальная средняя полученная награда этих моделей оказалась равной 420 и 240 соответственно в задаче CartPole. В задаче MountainCar максимальная средняя полученная награда составила -150 и -180 соответственно. На основании полученных результатов можно заключить, что алгоритм FCQL справился с модельными задачами CartPole и MountainCar лучше, чем алгоритм FQL, что показывает эффективность предложенного алгоритма для ИС РВ.

Литература

1. **Sutton R.S. and Barto A.G.**, Reinforcement Learning: An Introduction. Second ed. 2018: The MIT Press
2. **Kumar A., and et al.** Conservative Q-Learning for Offline Reinforcement Learning. 2020. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2006.04779>
3. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. — М.: ИНФРА-М, 2020.
4. **Glorennec P.Y., Jouffe L.**, “Fuzzy q-learning,” in Intl. Conference on Fuzzy Systems, vol. 2, 1997, pp. 659–662.

*А.М. Бондаренко, студ.;
рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва);
рук. Н.В. Ягова, к.ф.-м.н., в.н.с. (ИФЗ РАН, Москва)*

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИ КОНТРАСТА «СУША-ОКЕАН» В ПАРАМЕТРАХ УНЧ-КНЧ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

В ряде работ были установлены значимые эффекты в вариации геомагнитного шума УНЧ-КНЧ диапазона [1]. Наличие или отсутствие контраста «суша-океан» в параметрах низкочастотных вариаций геомагнитного поля важно для оценки фона при анализе сейсмо-ионосферных возмущений, чему посвящена данная работа. Для анализа использовались данные магнитных измерений на спутнике SWARM-A в августе-сентябре 2024 г., в области 20–55° с.ш. 120–160° в.д. По участкам сигнала построены спектры, по которым формируются описательные характеристики сигнала. Имея признаковое пространство, выделяем основную информацию по методу главных компонент. В таком представлении выборка линейно не разделима, значит линейной взаимосвязи нет, для исследования нелинейной — построена модель с использованием методов машинного обучения. Для моделирования используется метод градиентного бустинга над решающими деревьями, т.к. он позволяет анализировать сложные нелинейные взаимосвязи. Валидация модели производилась по методу решётчатого поиска с перекрёстной проверкой, что даёт статистическую устойчивость построенной модели. Для оценки качества модели применялись метрики precision, recall, F1-мера и accuracy. Исследовались кривая точности-полноты и ROC-кривая с выделением равновесной точки среди пороговых значений решающей функции. В этой точке удаётся достичь показателей, характеризующих высокую точность построенной модели. Построенная модель статистически устойчива при высокой точности, значит в исследуемой задаче удалось выделить статистическую взаимосвязь. Проверена устойчивость модели к суточному и широтному изменению вариации геомагнитного поля. Для этого собрана выборка в области 45–55° с.ш. с равным содержанием участков суши и океана, орбиты лежат вблизи линии полдень-ночь. Модель протестирована на данной выборке, и результаты сопоставимы с результатами, полученными при валидации, что говорит об устойчивости модели к суточному и широтному изменению вариации геомагнитного поля. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-17-00125.

Литература

1. **Schekotov A.Y., et al.**, ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity // Radio Sci. 2007. Vol. 42.RS6S90. DOI: 10.1029/2005RS003441

П.Э. Машенок, студ.; рук. А.О. Щирий, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСПОЗНАВАНИЕ КООРДИНАТНЫХ ОСЕЙ И ИХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ 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 [1, 2]. Данные радиозондирования ионосферы представляются обычно в виде ионограмм. Большая часть свободно доступных архивов ионограмм предоставляет их только в виде изображений, а не исходных (сырых) данных. Распознавание координатных осей и их предельных значений на изображениях ионограмм (диапазоны частот зондирования и высот отражения сигнала) является необходимым этапом в автоматической обработке изображений ионограмм. Эта задача извлечения числовых значений пределов координатных осей решается нами методами оптического распознавания символов (OCR) на основе библиотеки Tesseract, которая хорошо зарекомендовала себя в обработке текстовой информации на изображениях. В итоге, методика обработки данных включает следующую последовательность действий.

1. Определяется область интереса (ROI) вокруг переданных координат с небольшим смещением, зависящим от размеров изображения. ROI охватывает участок, где предположительно находятся числовые значения предельных отметок.
2. ROI масштабируется для улучшения точности распознавания чисел.
3. Настраивается конфигурация Tesseract с ограничением символов только на цифры (опция `tessedit_char_whitelist=0123456789`), что позволяет избежать ошибок распознавания лишних символов.
4. Путём поиска чисел в распознанном тексте и их последующего преобразования в числовой формат определяется максимальное значение, соответствующее верхнему пределу на оси.

Таким образом автоматизируется процесс извлечения предельных значений с координатных осей ионограммы. Задачей дальнейших работ является распознавание других надписей на изображении ионограммы (пункт зондирования, дата-время, и др.).

Литература

1. **Щирий А.О.** Развитие средств автоматизации наземного радиозондирования ионосферы // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2014. Т. 14. № 5.
2. **Щирий А.О.** Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолний // *Журнал радиоэлектроники*. 2022. № 10.

Е.А. Текин, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SYCL/DPC++ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВЫДАЧ БАНКОВСКИХ КРЕДИТНЫХ СРЕДСТВ

Одной из частых сфер применения современных информационных систем является выполнение различного рода вычислительных задач в области финтеха, в частности, прогнозирование объема выдач банковских кредитных средств. Данная задача требует значительных вычислительных мощностей для своего решения из-за большого объема данных. В данной работе на примере исследуется прогнозирование роста выдач банковских кредитных средств на основе метода SARIMA[1]:

$$(1 - \phi_1 B)(1 - \Phi_1 B^s)(1 - B)(1 - B^s)y_t = (1 + \theta_1 B)(1 + \Theta_1 B^s)\varepsilon_t,$$

где y_t — наблюдаемый временной ряд в момент времени t , B — оператор обратного сдвига, представляющий оператор запаздывания (т.е. $B y_t = y_{t-1}$), ϕ_1 — несезонный коэффициент авторегрессии, Φ_1 — сезонный коэффициент авторегрессии, θ_1 — коэффициент несезонной скользящей средней, Θ_1 — коэффициент сезонной скользящей средней, s — сезонный период, ε_t — период ошибки из-за белого шума в момент времени t .

Метод SARIMA расшифровывается как сезонная авторегрессионная интегрированная скользящая средняя и является универсальной и широко используемой моделью прогнозирования временных рядов. SARIMA — расширение несезонной модели ARIMA, фиксирует как краткосрочные, так и долгосрочные зависимости в данных.

В докладе рассматривается математический метод прогнозирования выдач кредитных средств и общее описание его реализации с применением технологии SYCL/DPC++ [2]. Приводится анализ полученного ускорения в сравнении с запуском вычислений в однопоточном режиме на центральном процессоре.

Литература

1. **Hyndman, Rob J; Athanasopoulos, George.** 8.9 Seasonal ARIMA models. Retrieved — 2015.
2. **Breyer M., Van Craen A., Pflüger D.** Evaluation of SYCL's Different Data Parallel Kernels // Proceedings of the 12th International Workshop on OpenCL and SYCL. — 2024. — С. 1–4.

Р.К. Кутдусов, студ.; рук. И.А. Воробьева, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ НА ГРАФАХ И МЕТРИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАЗБИЕНИЙ В СЕТЕВОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Сетевой анализ данных играет важную роль в изучении сложных систем, представимых графами большой размерности. В частности, методы кластеризации (поиска сообществ) помогают выявлять структуру графов, что имеет практическое применение в анализе социальных сетей, биологии, эпидемиологии, безопасности и других областях [1]. Работа посвящена исследованию трех популярных алгоритмов поиска сообществ в сетях и их сравнительному анализу на основе метрик качества. Для исследования была разработана программная реализация, включающая в себя визуальный и аналитический функционал работы с графами.

Рассмотрены методы: распространения меток, Гирвана-Ньюмена и Лувена. Метод распространения меток быстро формирует сообщества за счет итеративного присваивания каждой вершине метки на основе меток её соседей. Иерархический метод Гирвана-Ньюмена выделяет кластеры, итеративно удаляя ключевые рёбра на основе их важности (центральности). Эвристический алгоритм Лувена разбивает граф на сообщества за счет максимизации модулярности графа. Исследование показало, что методы различаются по степени точности, по вычислительной сложности и по применимости к разным типам графов.

Оценка качества кластеризации методами выполнена с помощью внешних и внутренних метрик. Внутренние метрики используют информацию о составе получившихся кластеров и их взаимном расположении. К ним относится модулярность — показатель плотности рёбер внутри сообществ, а также силуэт — мера однородности кластера. Два показателя: отрегулированный индекс Рэнда (ARI) и отрегулированная взаимная информация (AMI) сравнивают полученное разбиение с известным истинным разбиением и относятся к внешним метрикам.

Для анализа разработана программа на Python, позволяющая загружать графы в формате GML. Основное удобство заключается в том, что в программе отображается истинное разбиение загруженного графа, затем его разбиение одним из рассмотренных алгоритмов кластеризации, — можно наглядно заметить различия между разбиениями, а также проанализировать метрики с помощью расчета и графиков программы.

Литература

1. **Евин И.А.** Введение в теорию сложных сетей // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. т. 2, № 2. с. 121–141.

С.А. Задорин, асп.; рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ДВУХ СХЕМАХ ПЕРЕСЧЕТА ЦЕНТРОВ КЛАСТЕРОВ В АЛГОРИТМЕ K-MEANS

k-means (рус. k-средних) — это итеративный алгоритм кластеризации данных, разработанный в 1950-ых годах Стюартом Ллойдом, сотрудником Bell Labs, для импульсно-кодовой модуляции сигналов [1]. В наши дни метод k-средних является одним из самых популярных алгоритмов кластеризации данных и применяется для решения широкого круга задач.

Алгоритм k-means предназначен для автоматической группировки данных вокруг k центров. Основная идея алгоритма заключается в том, что на каждой итерации на основе имеющегося разбиения пересчитываются центры кластеров, затем объекты разбиваются на кластеры в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе к конкретному объекту по заранее выбранной метрике. Такой пересчёт продолжается до тех пор, пока разбиение изменяется.

Программно пересчёт центров кластеров возможно осуществить двумя способами:

1. Напрямую, вычислив на основе текущего разбиения новые центры кластеров и после этого пересчитав разбиение;
2. Совместив пересчёт разбиения и вычисление новых центров кластеров.

В данной работе были реализованы оба способа пересчета центров на языке программирования Си и проведено их сравнительное тестирование на наборах данных из UCI Machine Learning repository и scikit-learn [2, 3]. На наборах данных из UCI Machine Learning repository кластеризация k-means со вторым способом пересчета центров потребовала в среднем на 8.9% больше времени, чем первым способом, а на синтетических наборах данных из scikit-learn — на 6.2%.

Результаты работы свидетельствуют о том, что совмещение вычисления новых центров с пересчетом разбиения, требующее дополнительной памяти, не ускоряет алгоритм k-means.

Литература

1. **S.P. Lloyd**, “Least squares quantization in PCM”, unpublished Bell Lab. Tech. Note, portions presented at the Institute of Mathematical Statistics Meet., Atlantic City, NJ, Sept. 1957. Also, IEEE Trans. Inform. Theory (Special Issue on Quantization), vol. IT-28, pp. 129–137, Mar. 1982.
2. UCI Machine Learning Repository: Home [Электронный ресурс] // URL: <https://archive.ics.uci.edu/> (дата обращения: 23.11.2024).
3. sklearn.datasets — scikit-learn 1.5.2 documentation [Электронный ресурс] // URL: <https://scikit-learn.org/stable/api/sklearn.datasets.html> (дата обращения: 23.11.2024).

Э.Р. Салахутдинов, асп.;
рук. О.В. Бартеньев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В УСЛОВИЯХ РЕДКИХ И КРИТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ

Автономные транспортные средства (АТС) занимают центральное место в развитии интеллектуальных транспортных систем, способствуя снижению числа дорожно-транспортных происшествий, улучшению логистики и уменьшению воздействия на окружающую среду. Однако одной из наиболее сложных задач в этой области остается обеспечение надежного поведения автономных транспортных средств в редких и критических сценариях, таких как внезапное появление препятствий, агрессивное поведение других участников движения или неожиданные изменения дорожных условий (лед, дождь, плохая видимость). Традиционные алгоритмы управления, основанные на заранее заданных правилах или моделях, часто оказываются недостаточно гибкими и не способны эффективно адаптироваться к редким или нестандартным ситуациям. Обучение с подкреплением (ОП) является перспективным подходом, позволяющим АТС обучаться оптимальным стратегиям поведения через взаимодействие с окружающей средой [1, 2].

Цель данного исследования заключается в повышении устойчивости АТС к редким и критическим сценариям с использованием подходов ОП. В рамках работы был разработан алгоритм, который позволяет моделировать редкие сценарии, включая сложные дорожные ситуации, с которыми интеллектуальный агент может столкнуться в реальных условиях. В алгоритме реализован механизм динамического управления штрафами и вознаграждениями, направленный на усиление внимания агента к критически важным аспектам безопасности, включая сокращение времени реакции и предотвращение аварийных ситуаций. Для тестирования был использован симулятор CARLA. В отличие от существующих подходов, предложенный алгоритм позволяет адаптировать агента к неизвестным сценариям без необходимости большой выборки данных из реального мира.

Литература

1. **Kiran B.R. et al.** Deep reinforcement learning for autonomous driving: A survey // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2021. — Т. 23. — № 6. — С. 4909–4926.
2. **Грессер Л., Кенг В.Л.** Глубокое обучение с подкреплением: теория и практика на языке Python. — СПб.: Питер, 2022. — 416 с.

Секция 15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Computer engineering and CAD systems

Председатель секции: д. т. н., профессор *Топорков Виктор Васильевич*

Секретарь секции: *Ключанский Александр Андреевич*

*С.В. Петров, асп.; рук. Н.А. Галанина, д. т. н., проф.
(ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова» г. Чебоксары)*

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЙ В АНАЛИЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ТЕРМИНАЛА РЗА

Процесс автоматизированного синтеза объектно-ориентированной программной модели терминала релейной защиты и автоматики (РЗА) из функционального описания, написанного на естественном языке (ЕЯ) [1], основывается

на анализе этого описания. Целью анализа функционального описания является выявление сущностей, составляющих функционал терминала РЗА, состав сущностей, поведение сущностей и их связи. Т. к. функциональное описание написано на ЕЯ, компьютерный анализ по выявлению связей между описанными сущностями и их поведением невозможен по причине того, что компьютер не осведомлен о семантической составляющей слов ЕЯ [2].

Для однозначного определения смысловых связей между сущностями предлагается применять онтологии, описывающие функциональность терминалов РЗА [3]. Онтология реализуется как экспертная система и применяется как компьютеризированный специалист-эксперт, помогающий специальному программному обеспечению преобразовывать описания сущностей на ЕЯ в их формализованное описание в виде объектно-ориентированного программного кода [4].



Рис. 1. Экспертная система и ПО для анализа описания терминала РЗА

Литература

1. **Галанина Н.А., Петров С.В.** Методика синтеза объектно-ориентированной программной модели терминала релейной защиты из его функционального описания / Н.А. Галанина, С.В. Петров // Вестник современных цифровых технологий. — 2024. — Вып. 20. — С. 28–36.
2. **Горшков С.В.** Онтологическое моделирование предприятий: методы и технологии: монография [отв. ред. С.В. Горшков]; предисл. С.В. Горшкова. — Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2019. — С. 236.
3. **Петров С.В., Галанина Н.А.** Онтологии для анализа функционального описания терминалов релейной защиты и автоматики. Информатика и вычислительная техника: сб. науч. тр.: Чуваш. Гос. Ун-т им. И.Н. Ульянова. — Чебоксары, 2024.: с. 335–340.
4. **Weisfeld Matt A.** The object-oriented thought process / Matt Weisfeld. — 3rd ed. — Printed in the United States of America, 2008. — 347 p.

В.А. Матвеева, студ.; рук. Г.А. Бородин, проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Головокружение — частая проблема, с которой пациенты обращаются к врачам различных специальностей. Несмотря на распространённость, головокружение само по себе не болезнь, а симптом [1], который может быть вызван различными причинами, от заболеваний внутреннего уха и вестибулярного нерва до патологий головного мозга и нарушений чувствительности. К настоящему времени разработано приложение, интегрирующее результаты отоневрологических тестов с использованием очков Френзеля [2] для отоневрологического приёма.

Данная работа посвящена разработке программной модели на основе алгоритмов искусственного интеллекта которая позволит формировать предварительный диагноз, основываясь на жалобах, анамнезе и данных обследования пациента, с учётом известных международных критериев вестибулярных расстройств общества Барани.

Для создания системы автоматической постановки предварительного диагноза головокружения в начале, в сотрудничестве с врачами-экспертами, были определены ключевые критерии диагностики и собраны данные пациентов, включающие анамнез и подтверждённые диагнозы. Для удобства первичной обработки информация о приёмах была структурирована и записана в таблицы Excel с использованием скриптов на языке Python, а затем перенесена в базу данных Oracle [3]. После анализа данных, были отобраны наиболее информативные категориальные признаки и выбрана архитектура модели — нейронная сеть перцептронного типа с функцией активации сигмоида. Далее был разработан алгоритм формирования предварительного диагноза на языке Python [4] и создана программа для обеспечения его взаимодействия с базой данных. В дальнейшем планируется обучение и тестирование разработанной модели на реальных клинических данных для оценки её точности и эффективности.

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. **Постолит, А.В.** Основы искусственного интеллекта в примерах на Python. Самоучитель. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2021. — 448 с.: ил. — (Самоучитель).

А.М. Черкашина, студ.; рук. Г.А. Бородин, проф. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭТАПОВ ДИФфуЗИОННОГО ПРОЦЕССА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Современные программные реализации диффузионных моделей, используемые для генерации изображений, демонстрируют уникальную способность создавать высококачественные визуальные материалы. Однако их сложность часто ставит перед исследователями непростую задачу: понять внутренние механизмы этой технологии.

Цель данной работы заключается в визуализации промежуточных этапов диффузионного процесса, что позволит глубже оценить трансформацию изображения — от первоначального шума до конечного результата [1].

Начиная с анализа теоретических основ диффузионных моделей, включая их алгоритмическую структуру и итеративные этапы, особое внимание уделяется разработке интерактивного инструмента визуализации, предоставляющего возможность отслеживать изменения на каждом этапе восстановления [2]. Данный подход облегчает анализ программной реализации модели и способствует значительному улучшению её характеристик.

Результат работы подчёркивает важность визуализации промежуточных стадий, открывая новые горизонты для исследований в области генерации изображений и может быть применима: в образовательных целях, где студенты смогут лучше понять принципы работы генеративных моделей, или в практических задачах в индустрии, таких как создание высококачественного контента в искусственном интеллекте и компьютерной графике.

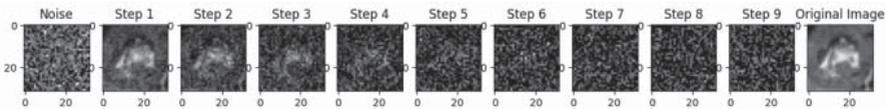


Рис. 1. Пример тестового изображения

Литература

1. **Фостер, Д.** Генеративное глубокое обучение. Как не мы рисуем картины, пишем романы и музыку. 2-е межд. изд. / Д. Фостер. — Астана: Спринт Бук, 2024. — 448 с.: ил. ISBN 978-601-08-3729-4.
2. **Яндекс. Учебник.** Машинное обучение: руководство по основам [Электронный ресурс] // Яндекс. Образование. — Режим доступа: <https://education.yandex.ru/handbook/ml> (дата обращения: 12.09.2024).

Секция 16

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

Computing machines, networks, and systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Абросимов Леонид Иванович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Орлова Маргарита Андреевна

В.А. Сипаков, студ., М.В. Кузнецов, студ.;
рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Количество спутников постоянно увеличивается: в период с 2020 по 2023 год количество спутников увеличивалось на 30% каждый год [1]. Актуальность моделирования межпланетной передачи данных возрастает. В связи с увеличением сложности систем межпланетной передачи данных возникает необходимость использования более современных средств моделирования.

В докладе представлен обзор средств моделирования межпланетной передачи данных. Рассмотрены как российские [2], так и зарубежные варианты [3–4]. В частности, проведен анализ средств и методов на примере распределённой платформы моделирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС — «Поток» [2]. Рассмотрены преимущества и недостатки каждой группы средств, определены нерешенные на данный момент проблемы и направления возможных научных исследований.

Литература

1. **Stephen Young**, How Many Satellites Are in Space? The Spike in Numbers Continues Pages <https://blog.ucsusa.org/syoung/how-many-satellites-are-in-space-the-spike-in-numbers-continues/>
2. **Куликов Р.С., Вишняков С.В., Малышев А.П., Орлова М.А., Бровко Т.А.** «Поток» — распределённая платформа моделирования цифровых двойников системы ГЛОНАСС // Космические аппараты и технологии. 2024. Т. 8. № 1. С. 57–63. http://journal-niss.ru/archive_view.php?num=334
3. **Alice Le Bihan, Juan A. Fraire, Pierre Francois, Felix Flentge** — IPN-V: The Interplanetary Network Visualizer. https://www.researchgate.net/publication/383911051_IPNV_The_Interplanetary_Network_Visualizer
4. **Liang Gou, Gengxin Zhang, Wei Zhang, Dongming Bian** — Cluster-based architecture and network model for InterPlaNetary Internet. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03391570>

С.А. Балашов, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ СВЁРТЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ СУПЕР-РАЗРЕШЕНИЯ

Нейронные сети прочно вошли в повседневную практику обработки изображений. Одним из множества направлений обработки изображений нейросетями является задача супер-разрешения. Применение свёрточных нейронных сетей (CNN — convolutional neural network) [1] позволяет качественно воссоздать изображение высокого разрешения из оригинала низкого разрешения. Однако, такие операции требуют значительных вычислительных ресурсов. Большинство реализаций алгоритмов супер-разрешения не позволяют обрабатывать изображения в реальном времени, поэтому актуальной является задача ускорения этих.

Цель работы заключается в исследовании методов ускорения свёрточных нейронных сетей (CNN) [1] и сравнительном анализе производительности исходной и ускоренной моделей. В качестве базовой модели была выбрана сеть ESPCN, предложенная Веньчжэ Ши [5]. Для ускорения работы CNN [1] и обеспечения обработки изображений в реальном времени в данной работе будут исследованы следующие методы: оптимизация архитектуры сети (применение остаточных блоков, прунинг), квантование весов и активаций. Сравнение будет проводиться по нескольким критериям: скорость работы CNN, пиковое соотношение сигнал-шум и визуальный анализ.

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. **Vadim Lebedev**. ALGORITHMS FOR SPEEDING UP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS [Электронный ресурс]: <https://www.skoltech.ru> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2018/10/Thesis-Final.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Christian Szegedy**. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision / Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jonathon Shlens [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567v1>, свободный. — Загл. с экрана.
4. **Sergey Zagoruyko**. Wide Residual Networks / Sergey Zagoruyko, Nikos Komodakis [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org> — Электронные данные. Режим доступа: URL.: <https://arxiv.org/pdf/1605.07146v1>, свободный. — Загл. с экрана.
5. **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.

А.А. Косарев, студ.; рук. Р.В. Алехин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN

В современном мире технологии играют важную роль во всех сферах жизни, и электронное голосование является одной из областей, где внедрение новых решений может существенно повысить эффективность и безопасность процессов. Традиционные способы голосования на бумажных бюллетенях имеют множество недостатков, таких как высокую стоимость, длительное время подсчета голосов, возможность фальсификации и ошибок. Использование технологии Blockchain [1] представляется перспективным способом решения этих проблем.

В рамках работы был проведен анализ существующих протоколов электронного голосования, таких как: простой протокол электронного голосования, протокол Нурми-Салома-Сантина (протокол двух агентств) [2], протокол Фудзиока-Окамото-Охта и протокол Хэ-Су, посредством чего была выявлена ключевая общая проблема — централизация хранения голосов избирателей.

Для устранения выявленных недостатков была разработана система с использованием технологии распределенного реестра (Blockchain), архитектурно состоящая из нескольких ключевых модулей с исходным кодом на языке Go: регистрационный центр, основное приложение для взаимодействия, верификатор и менеджер голосований. Логика работы голосования была заключена в смарт-контракт Blockchain-платформы Ethereum на языке Solidity. Тестирование, которое проводилось в тестовой сети Sepolia, показало надежную работу системы с прозрачным подсчетом голосов любым желающим.

В результате выполнения работы была создана система электронного дистанционного голосования на основе технологии Blockchain. В процессе были успешно выполнены задачи: исследованы существующие системы эл. голосования, выявлены их недостатки; определены требования к системе; проанализированы Blockchain-платформы и выбрана наиболее подходящая; спроектирована архитектура; непосредственно реализована система и выполнено тестирование смарт-контракта и системы в целом.

Литература

1. **Yaga D., Mell P., Roby N.**, Blockchain Technology Overview [Электронный ресурс]. — URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2018/NIST.IR.8202.pdf> (дата обращения: 22.04.2023).
2. **Nurmi H., Salomaa A., Santean L.** Secret ballot elections in computer networks // *Computes and Security*, 36 (10). 1991. P. 553–560.

О.П. Морозова, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАРШРУТИЗАЦИЯ В СЕТИ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИИ

Технологический прогресс привел к развитию не только более устойчивых и быстрых вычислительных сетей на месте ранее существовавших, но к появлению новых типов сетей, созданных в ответ на новые условия их применения. Возникла необходимость настраивать стабильное подключение на постоянно движущихся узлах, в условиях больших задержек передачи пакетов, а также среди многочисленных сенсоров, объединяющихся в Интернет вещей [1]. Одним из таких новых специализированных видов являются сети, развернутые между орбитальными спутниками, количество которых с каждым годом растет [2]. Данные сети характеризуются динамической топологией — спутники все время находятся в движении по орбите — а также устойчивостью к задержкам. Последнее обуславливается самим характером соединений в космосе и их ограниченностью во времени. Общепринятый в наземных сетях стек TCP/IP не способен обеспечить доставку сообщений на околоземной орбите, в условиях больших временных задержек, установки соединений «по расписанию», а также отсутствию постоянной связи между отправителем и получателем, т.к. узлы находятся в постоянном движении [1, 3, 4]. Вследствие этого нарастает необходимость в новых протоколах маршрутизации в спутниковых сетях, которые должны учитывать все вышеперечисленные особенности, при этом не создавая больших вычислительных нагрузок на внутренние системы спутников [1, 2, 4].

В докладе представлен обзор новых методов маршрутизации в спутниковых сетях, а также исследовательский стенд для изучения характеристик в устойчивых к задержкам сетях с динамически изменяющейся топологией.

Литература

1. **Vasilakos A., Zhang Y., Spyropoulos T.** Delay tolerant networks. — Boca Raton, FL, USA: CRC press, 2016.
2. **Madoery P.G. et al.** Routing heterogeneous traffic in delay-tolerant satellite networks // IEEE Journal of Radio Frequency Identification. — 2023. — Т. 7. — С. 390–401.
3. **Cao X. et al.** Dynamic routings in satellite networks: An overview // Sensors. — 2022. — Т. 22. — № 12. — С. 4552.
4. **Al Homssi B. et al.** Next generation mega satellite networks for access equality: Opportunities, challenges, and performance // IEEE Communications Magazine. — 2022. — Т. 60. — № 4. — С. 18–24.

Д.А. Куликова, студ.; рук. Ю.В. Аляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ РЕКОМЕНДАЦИЙ РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА

Современные сервисы в Интернете не могут полноценно функционировать без рекомендательных систем, которые служат для ориентации пользователя в огромном потоке информации [1] и позволяют ему выбирать нужные услуги и товары среди множества предложений. В условиях конкуренции и быстрого развития веб-технологий качество рекомендаций должно постоянно совершенствоваться. Для этого необходимо выявлять методы и алгоритмы, наилучшим образом показывающие себя при выполнении определённых задач.

Рекомендательная система — это совокупность нескольких подсистем. Каждая из них выполняет имеет свою функцию: сбор данных о пользователе и контенте, предварительная обработка данных, анализ, прогнозирование, фильтрация промежуточных результатов, ранжирование и выдача рекомендации [2]. Каждая рекомендательная система основывается на данных, зависящих от сферы применения и задачи, которую система должна выполнять. Поэтому анализировать методы создания рекомендаций возможно только при наличии конкретной задачи в определённой области.

В настоящей работе проведено исследование применимости существующих рекомендательных алгоритмов для задачи по рекомендации развлекательного контента пользователю. Выполнена декомпозиция рекомендательной системы, а алгоритмическая составляющая рассмотрена как совокупность линейной и нелинейной части. Экспериментальным путем выявлено, какие алгоритмы являются наиболее подходящими для выполнения поставленной задачи. Отдельное внимание уделено критериям для проведения оценки рекомендательной системы.

По итогам проведенного исследования была разработана модель рекомендательной системы, выявляющая потенциальные предпочтения пользователей на основе данных об их взаимодействиях с веб-страницей, которая предоставляет доступ к развлекательному контенту. Был проведен анализ критериев, по которым можно производить оценку данной системы и определён набор, позволяющий получить наиболее полное представление о качестве рекомендаций.

Литература

1. **Falk K.** Practical Recommender Systems // Manning Publications, 2019, 432 p.
2. **Schrage M.** Recommendation Engines // MIT Press Essential Knowledge, 2020, 296 p.

Д.С. Молчанов, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ РАЗРЕЖЕННЫХ ДАННЫХ

В настоящее время многие области науки и предпринимательства сталкиваются с проблемой хранения разреженных данных: интернет вещей, медицина, астрономия, география, экономика и другие. При этом объем самих данных непрерывно растет. Выбор технологии хранения данных, главным образом, влияет на производительность базы данных и всей системы в целом.

Несмотря на то, что подходы и модели хранения данных непрерывно совершенствуются, частная организация хранения остается крайне трудоемким процессом. В большинстве случаев различные технологии хранения данных предназначены для решения конкретных задач.

В рамках данной работы рассмотрены подходы и методы организации хранения данных [1-2], определены их преимущества и недостатки с точки зрения хранения разреженных данных [3], произведено сравнение комбинаций методов и подходов [4], оценена возможность унифицированных рекомендаций по организации хранения данных.

Литература

1. **Тимофеева, Н.Е.** Анализ современных технологий хранения сверхбольших объемов информации / Н.Е. Тимофеева, К.А. Дмитриева, И.Д. Сагаева // Программные продукты, системы и алгоритмы. — 2018. — № 1. — С. 3. — EDN XYODGH.
2. **Анна Вичугова.** Как спроектировать КХД: 4 метода моделирования данных для архитектора Big Data [Электронный ресурс] ООО «Учебный центр «Коммерсант» — 25.04.2020 Режим доступа: <https://bigdataschool.ru/blog/data-modelling-methods.html>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Фомин М.Б., Смирнов И.В.** МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛАСТЕРОВ ЯЧЕЕК В РАЗРЕЖЕННЫХ КУБАХ ДАННЫХ МНОГОМЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.
4. **Beckmann J.L. et al.** Extending RDBMSs to support sparse datasets using an interpreted attribute storage format // 22nd International Conference on Data Engineering (ICDE'06). — IEEE, 2006. — С. 58–58.

Е.С. Желагин, студ.; рук. А.Н. Зейн, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕИМУЩЕСТВА ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ПЕРЕД РЕЛЯЦИОННЫМИ ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

В современном мире стали преобладать высоконагруженные приложения, так называемые DIA (Data Intensive Application). Относительно недавно графовые базы данных (ГБД) стали набирать популярность. Уже сейчас можно выделить области, где они имеют неоспоримое преимущество.

В социальных сетях важную роль играют не только сами данные, но и связи между ними. Они хорошо представимы в виде графовой модели, где узлами выступают сами объекты, например, люди или сообщества, а связи — их отношения, например, друг или подписчик. Реляционные базы данных хранят данные в таблицах, где связи между ними осуществляется с помощью первичных и внешних ключей. Как отмечает автор [1], при глубоких взаимосвязях структура таблиц становится громоздкой и их количество становится все больше. ГБД предлагает естественную модель данных, графовую, которая описана выше.

Результаты показали, что ГБД хорошо оптимизированы для многоуровневых запросов и анализа сложных взаимосвязей [2]. В качестве примера ГБД neo4j, самого популярного представителя на современном рынке. Запросы обрабатываются напрямую по рёбрам между узлами, что значительно ускоряет операции, особенно при многоуровневых запросах. Согласно Клеппману [1], для получения такого же результата при использовании SQL потребуется сделать сложные конструкции с вложенными запросами. В свою очередь, такие запросы требуют больше времени и ресурсов компьютера.

В докладе представлен экспериментальный стенд, на котором произведено сравнение по эффективности запросов. ГБД с реляционными базами данных в контексте анализа сложных взаимосвязей. В среднем, для решения поставленных задач, производительность ГБД neo4j оказалась в 4,3 раза выше, чем реляционной базы данных PostgreSQL.

Литература

1. **Клеппман, М.** Высоконагруженные-приложения. Программирование, масштабирование, поддержка / М. Клеппман. — Астана: Спринт Бук, 2024. — 640 с.:ил.
2. **Chen, Yaowen.** Comparison of graph databases and relational databases when handling large-scale social data. Diss. University of Saskatchewan, 2016.

А.А. Кузьмин, студ., К.К. Ермаков, асп.;
рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Научно-технический центр электропривода «Вектор» разрабатывает блоки управления электромеханической трансмиссией карьерного самосвала. Предварительно, каждый блок тщательно тестируется, на что тратится от 4 до 8 часов рабочего времени, а с новыми стендами для полуавтоматического тестирования — до 10 минут. Но даже на таких рабочих местах (РМ) для проведения испытаний, результаты могут быть зафиксированы неверно из-за наличия человеческого фактора, поэтому разрабатывается система управления (СУ) стендами тестирования компонентов электротрансмиссии карьерного самосвала.

Сейчас на таких РМ тестируются следующие блоки: КСП, СУМК, СВТГ, КВУ, БКЗ и модуль ИСМ [1]. Каждый компонент проверяется на индивидуальном стенде с уникальным списком испытаний. РМ оборудованы программируемым логическим контроллером, к которому блок обращается по протоколу последовательной связи CAN [2]. Внешнее подключение к стенду доступно по протоколу MODBUS TCP/IP [3].

Разрабатываемое серверное программное обеспечение, сможет автоматически получать информацию с каждого РМ и отображать её в виде HTML страницы. Следовательно, обращаться к серверу пользователь сможет по протоколу HTTP/1.1 [4] а стенд — по MODBUS TCP/IP. Таким образом СУ будет совместима с архитектурой большинства предприятий, позволит подключиться к каждому РМ и проверить отчеты о тестировании за все время. Автоматическая генерация и отправка на сервер данных о проведении испытаний больше не потребует ручной записи и дополнительного контроля.

Литература

1. Электромеханическая трансмиссия карьерных самосвалов большой грузоподъемности | НТЦэ «Вектор» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://vectorgroup.ru/usages/dumptrucks>, свободный (дата обращения 05.11.2024).
2. CAN Specification Version 2.0 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.zlg.cn/data/upload/software/Can/CANag.pdf>, свободный (дата обращения 05.11.2024).
3. MODBUS Messaging on TCP/IP [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf, свободный (дата обращения: 05.11.2024).
4. Hypertext Transfer Protocol — HTTP/1.1 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.w3.org/Protocols/HTTP/1.1/draft-ietf-http-v11-spec-01.html>, свободный (дата обращения: 05.11.2024).

Э.А. Чельшев, асп.; рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ КАПИЛЛЯРНОГО КРОВОТОКА ПО ДАННЫМ ВИДЕОКАПИЛЛЯРОСКОПИИ

В настоящее время системы обработки изображений находят активное применение в медицине [1]. В диагностике ряда социально-значимых заболеваний используется процедура видеокапилляроскопии, заключающаяся в регистрации и анализе изображений капиллярного кровотока. Получаемая в результате видеокапилляроскопии последовательность изображений оказывается зашумленной вследствие неравномерного освещения исследуемого участка кожи, неоднородной глубины залегания капилляров, а также произвольных движений пациента. Использование методов и алгоритмов обработки изображений позволяет автоматизировать обработку получаемых в ходе видеокапилляроскопии данных и повысить точность диагностики [2].

В данной работе представлен алгоритм построения карты капиллярного кровотока по последовательности изображений, полученных в ходе видеокапилляроскопии. Для повышения контраста исходных изображений и устранения неравномерности освещения в них использовался гауссовский фильтр. Было выполнено усреднение по последовательности изображений с целью исключения статической составляющей на них. С использованием частотно-временного анализа была получена контрастная карта капиллярного кровотока.

Полученная карта капиллярного кровотока является удобной для человеческого восприятия визуализацией и существенно упрощает работу эксперта. Кроме того, построение такой карты является необходимым этапом при решении других задач определения параметров капиллярного кровотока по данным видеокапилляроскопии, в том числе задачи определения его скорости [3].

Литература

1. Ng D., Feng M. Medical Image Recognition: An Explanation and Hands-On Example of Convolutional Networks // Leveraging Data Science for Global Health / ed. L. Celi, M. Majumder, P. Ordóñez et al. Cham, 2020. Ch. 16. P. 263–284.
2. Волков М.В., Маргарянц Н.Б., Потемкин А.В. и др. Метод визуализации кровеносных сосудов в коже человека на основе видеорегистрации кровотока с использованием лапароскопа // Радиотехника и электроника. 2020. Т. 65, № 7. С. 674–683.
3. Guryleva A.V., Machikhin A.S., Khokhlov D.D. et al. Feasibility of videocapillaroscopy for characterization of microvascular patterns in skin lesion // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2022. Vol. 12147.

В.Ф. Кальченко, студ.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Современные нейронные сети требуют значительных вычислительных мощностей для обучения и применения, что существенно ограничивает их использование на переносимых и энергоэффективных устройствах. Оптимизация архитектур моделей машинного обучения и подходов к обработке данных становится важной задачей для расширения их применимости.

В основе подхода лежит сочетание методов кластеризации и нейронных сетей для оптимизации эффективности моделей машинного обучения. Идея заключается в том, чтобы уменьшить размер моделей с помощью разбиения пространства данных на сектора, к каждому из которых ставится в соответствие нейронная сеть. Подобное разделение может ускорить как процесс обучения — каждая небольшая нейронная сеть может обучаться параллельно с остальными, так и практическое применение модели.

Реализация данной методики включает в себя предварительную сегментацию данных на кластеры с использованием алгоритмов кластеризации. Во время обучения каждому кластеру в соответствие ставится отдельная нейронная сеть, которая обучается на входящих в него данных. При использовании данной архитектуры поступающие объекты распределяются по нейронным сетям в соответствии с моделью кластеризации: объект классифицируется той нейронной сетью, связанной с кластером, к которому ближе всего находится объект.

Теоретическим преимуществом метода является снижение вычислительных затрат: вместо одной крупной модели используется несколько меньших, каждая из которых обучается быстрее и требует меньше ресурсов. Но и при этом возникают новые задачи, которые необходимо решить для реализации метода на практике: выбор метода кластеризации, количество кластеров и, соответственно, моделей, а также степень уменьшения размера моделей относительно традиционной архитектуры. Например, существуют чёткие и нечёткие алгоритмы кластеризации. Чёткие алгоритмы кластеризации дают однозначное соответствие объекта кластеру, но при этом возникает проблема потери информации, когда объект находится примерно на одинаковом удалении от нескольких кластеров. Нечёткие алгоритмы помогают решить проблему подобных случаев, когда объект находится на краю кластеров.

Успешная реализация данного подхода может открыть новые возможности для создания высокоэффективных и адаптивных систем машинного обучения.

*Д.Г. Данилин, ассистент;
рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ РАСЧЁТОВ РЕСУРСОВ УЗЛА СЕТИ ДЛЯ ПОТОКОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

В данной работе была использована модель узла сети, приведенная в [1]. Исследованы свойства этой модели при различных видах распределения случайных величин, поступающих на вход моделируемого узла в виде клиентского потока заявок.

Цель работы — определить, какой из видов распределения наиболее удобен и точен для аналитической оценки параметров проектируемого узла сети современного стандарта NGN.

В работе были использованы два типа входного потока клиентских заявок — экспоненциальный и Вильфредо Парето [2].

Основываясь на разработанной в [1] математической модели, создан программный модуль диспетчеризации сети, задачей которого является построение зависимости количества необходимых серверов сети от потока клиентов. В основу программы заложены два разработанных алгоритма, а именно алгоритм имитационного моделирования модуля диспетчеризации внешних запросов в сети и алгоритм определения зависимости необходимого количества серверов от времени между поступающими друг за другом заявками.

На основании результатов моделирования были сделаны выводы:

1. При одинаковых входных данных большая точность оценки необходимого количества оборудования была достигнута при использовании вероятностного распределения Парето, что достигается благодаря меньшей чувствительности закона распределения к граничным значениям интенсивностей;
2. Также при использовании зависимости Парето результирующий интервал искомой величины оказался значительно меньшим.

Литература

1. Данилин Г.Г., Манов А.С. Программная реализация модуля диспетчеризации внешних запросов в компьютерных сетях. Вычислительные сети. Теория и практика № 2 2018.
2. Треногин Н.Г., Соколов Д.Е. Фрактальные свойства сетевого трафика в клиент-серверной информационной системе. — Новосибирск: Вестник СУВПТ, 2001. — 172 с.

*И.А. Харин, аспирант;
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
конс., Б.А. Логунов, к.т.н., нач. отдела (ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский)*

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА САМОЛЕТ В ПОЛЕТЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В настоящее время создание конкурентно способных самолетов привело к увеличению объемов экспериментальных данных и необходимости их обработки в реальном времени. Это обстоятельство делают проблему повышения производительности расчетных алгоритмов особенно актуальной. Применение методов оптимизации программного обеспечения может существенно повысить эффективность этих расчетов. Для выполнения работ по данному исследованию на основе инструментального пакета программ ДНВ (динамика неспокойного воздуха) [1] была подготовлена исходная (тестовая) программа расчета динамических нагрузок, действующих на самолет в полете. Результаты расчета использованием тестовой программы были представлены в виде значения времени выполнения программы, графиков преобразований Фурье, частотных характеристик и спектральных плотностей. Далее была выполнена оптимизация исходной программы с использованием методов анализа кода, распараллеливания, векторизации и предобуславливания [2]. После анализа влияния на время выполнения каждого из методов оптимизации проводилась последовательная оптимизация всеми методами. Полученные данные сравнивались с данными исходной программы. Результаты оптимизации с использованием перечисленных методов приведены в ниже представленной таблице.

Методы оптимизации	Сокращение времени отработки исходной программы, %
Замена алгоритма	6
Распараллеливание	37,44
Векторизация	41
Предобуславливание	40,5
Последовательно всеми методами	76

Рассмотренные в докладе методы оптимизации могут привести к созданию новых возможностей в различных областях науки и техники.

Литература

1. **Кузнецов О.А.** Динамические нагрузки на самолет. М.: Физматлит, 2008.
2. **Ортега Дж.** Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. М.: Мир, 1991, 367 с.

А. Мвамба, студ.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ФРЕЙМВОРКА КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Эволюция кибербезопасности, начиная с создания первого компьютерного вируса в 1971 году до современных сложных киберугроз, подчеркивает необходимость разработки более эффективных стратегий защиты. В данной работе представлен **Адаптивный фреймворк кибербезопасности (ACF)**, который использует искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) для обнаружения и нейтрализации угроз в режиме реального времени. Фреймворк адаптируется к уникальным вызовам облачных и децентрализованных сред, объединяя исторические подходы, современные технологии и механизмы нормативного соответствия. Это позволяет создать масштабируемое, надежное и гибкое решение, которое соответствует требованиям глобальных стандартов, таких как PCI-DSS, HIPAA и GDPR.

Результаты исследования показывают, что ACF значительно повышает устойчивость организаций за счет динамической адаптации к изменяющимся поверхностям атак через непрерывную оценку рисков. Интеллектуальные алгоритмы на базе ИИ улучшают обнаружение и нейтрализацию угроз в реальном времени, а автоматизация мониторинга нормативного соответствия упрощает соблюдение стандартов и снижает затраты на ресурсы. Применение децентрализованных протоколов безопасности гарантирует масштабируемость и защиту мультиоблачных инфраструктур, преодолевая ограничения централизованных систем. Основанный на анализе истории кибербезопасности, применении ИИ и децентрализованных технологий, ACF представляет собой комплексное решение, которое помогает организациям проактивно защищать свои цифровые экосистемы и противостоять новым вызовам в быстро меняющемся ландшафте угроз.

Литература

1. **Ахмед, М., Махмуд, А.Н. и Ху, Дж. (2016)** — ИИ и машинное обучение в кибербезопасности: Опубликовано в Журнале сетевых и компьютерных приложений, том 60, страницы 301–320.
2. **Рагхаван, С. (2018)** — Соответствие требованиям и кибербезопасность: Важность соответствия требованиям в кибербезопасности. Опубликовано в Harvard Business Review. <https://hbr.org/2018/01/the-role-of-compliance-in-cyber>
3. **Чжан, С. и Ван, И. (2020)** — Децентрализованные протоколы безопасности: Опубликовано в IEEE Access, том 8, страницы 158564–158577.

Н.А. Соколовский, студ.;
рук. Д.Г. Данилин, ассистент (НИУ «МЭИ»)

ОБРАБОТКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДАННЫХ С УМНЫХ УСТРОЙСТВ (IoT) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРАСНЕ КАФКА И АРАСНЕ FLINK С ИНТЕГРАЦИЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ СОБЫТИЙ

С развитием Интернета вещей (IoT) умные устройства стали неотъемлемой частью современного мира. В связи с этим, одной из фундаментальных задач является обработка данных, полученных с этих устройств, в реальном времени для обеспечения мониторинга, анализа и принятия решений. Современные технологии потоковой обработки, такие как Apache Kafka и Apache Flink, обеспечивают высокую производительность и масштабируемость для таких систем. Данные, поступающие с IoT-устройств, включают информацию о температуре, влажности, биометрические показатели и другие параметры. Для передачи этих данных используется Apache Kafka, гарантирующая надежность и устойчивость к сбоям. Дальнейшая обработка выполняется с помощью Apache Flink, который позволяет анализировать данные в реальном времени, выявлять аномалии и интегрировать машинное обучение для предсказания критических событий. Технология машинного обучения играет ключевую роль в обработке данных. Такие модели позволяют предсказывать аномалии, такие как перегрев оборудования или сбой в работе систем. Использование нейронных сетей для анализа позволяет эффективно обнаруживать критические изменения. Создание таких систем предоставляет уникальные возможности для умных домов, промышленности и здравоохранения, обеспечивает высокую производительность, точность и надежность. Развитие технологий реального времени для Интернета вещей является катализатором для создания эффективного цифрового общества.

Литература

1. **Carbone P., Katsifodimos A.** Stream Processing with Apache Flink. — O'Reilly Media, 2020.
2. **Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M.** Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications. — IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015.
3. **Ramjee R., Ghanem M.M., Wozniak M.** Predictive Analytics with TensorFlow. — Packt Publishing, 2020.
4. **Боронин П.Н., Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А.** Анализ IoT-сетей и их приложений. — СПбГУТ, 2020.
5. **Иванов С.А., Серебряков С.Н.** Интернет вещей: основы проектирования и эксплуатации. — Горячая линия-Телеком, 2020.

А.С. Федулова, соиск.;
рук. Я.А. Федулов, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГИБРИДНОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КЛАСТЕРЕ

Разработаны различные виды сложных вычислительных систем (ВС) и существует необходимость совершенствования их структур и программного обеспечения [2]. Наиболее распространенными являются высокопроизводительные гибридные вычислительные кластеры (ГВК), у которых наблюдается нерешенная проблема, связанная с эффективным распределением задач на вычислительных узлах.

В работе выполнена разработка методики анализа программного кода для полного задействования составных частей кластера, позволяющая параллельно обрабатывать большое количество разнородных входных данных. Предложена программно-аппаратная модель параллельных вычислений, позволяющая выполнить преобразование параллельных программ в гетерогенную форму, на основе которой разработан универсальный метод распараллеливания программного кода с применением элементов нечеткой логики и нечетких множеств [1]. Указанный метод учитывает аппаратные и программные показатели ГВК, с целью снижения влияния доли обменных операций, выполняемых через медленные сетевые интерфейсы. Предлагаемый метод выполняется по этапам. Этап 1. Разработка программно-аппаратной модели. Этап 2. По построенной модели определяются аппаратные характеристики. Этап 3. На основе построенной модели вычисляются показатели исходной параллельной программы. Этап 4. Для определения необходимости проведения преобразования строится модуль интеллектуального анализа данных. Этап 5. Ставятся метки в исходной параллельной программе для преобразования в гибридную форму. Этап 6. Рекомендации и выполнение преобразованной параллельной программы на ГВК.

В дальнейшем планируется уточнение отдельных этапов предлагаемого метода и расширение входного набора данных для разработанной программно-аппаратной модели.

Литература

1. **Борисов В.В., Федулов А.С.** «Совместимые» нечеткие когнитивные модели: прямые и обратные задачи // *Нечеткие системы и мягкие вычисления*. Т. 11, № 2. С. 103–114. 2016.
2. **Toporkov V.** Coordinated global and private job-flow scheduling in grid virtual organizations // *Simulation Modelling Practice and Theory* Vol. 107, Netherlands, 2021.

А.В. Павловский, студ.;
рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ РАССТАНОВКИ ТОЧЕК ДОСТУПА WI-FI И ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОГО АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ

Современное общество не может функционировать без беспроводных технологий. Wi-Fi сети являются ключевым элементом инфраструктуры как в быту, так и в корпоративной среде [1]. Радиопланирование — важный этап, определяющий качество работы Wi-Fi сетей. Процесс проектирования сложен из-за множества факторов, которые необходимо учитывать: физические препятствия, влияющих на уровень сигнала, технические ограничения оборудования. Таким образом, ресурсоемкость задач радиопланирования делают очевидной необходимость его автоматизации.

В данной работе разработан подход к автоматизации радиопланирования Wi-Fi сетей, который включает: создание алгоритмов оптимизации размещения точек доступа (рис. 1), моделирование сигналов Wi-Fi на основе данных о помещении.

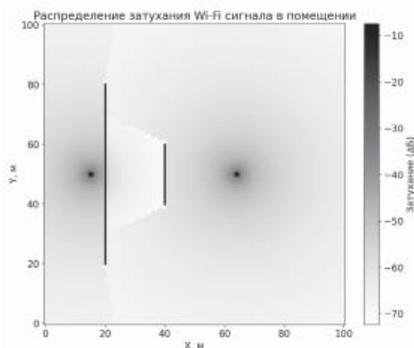


Рис. 1. Квазиоптимальная расстановка точек доступа Wi-Fi в помещении, полученная с помощью алгоритма

Литература

1. Лиэри Дж, Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004, 304 с.

Д.В. Човен, асп.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ ДОВЕРИЯ К КЛАССИФИКАТОРУ

Глубокие нейронные сети позволили решить множество задач, которые ранее были не доступны инженерам. Однако их применение и внедрение в критически важных системах принятия решений имеет ряд ограничений [1], что обусловлено уязвимостью искусственных нейронных сетей к состязательным атакам и отравлению данных.

Расчет классических критериев качества классификации по матрице ошибок делается на ограниченном множестве объектов обучающих и тестовых выборок. При этом никак не оценивается поведение классификатора за пределами области принятия решений (ЦОПР), заданной этими множествами. Объективную картину работы классификатора могла бы дать оценка фактической области принятия решений (ФОПР) и её сопоставление с ЦОПР. В частности, стало бы возможным оценить уязвимость классификатора к состязательным атакам.

В работах [2][3] были введены критерии качества одноклассовых и многоклассовых классификаторов — EDCA и EDCAP, позволяющие провести подобную оценку. Представляется важным разработать эффективную реализацию численного расчёта этих критериев в условиях многомерности пространства данных, на которых задан классификатор. Программа расчёта должна быть адаптирована для работы с моделями, функционирующими в среде Python и использовать оптимизацию как по памяти, так и по времени вычислений.

В данной работе рассматривается архитектура и реализация программы расчёта критериев EDCA и EDCAP, а также описываются ограничения по размерности входных данных и точности расчёта ЦОПР и ФОПР. Приводятся примеры расчётов критериев EDCA и EDCAP для нескольких классификаторов.

Литература

1. **Namiot D., Plyushin E.** On the reasons for the failures of machine learning projects // International Journal of Open Information Technologies. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 60–69.
2. **Гурина А.О., Елисеев В.Л.** Эмпирический критерий качества одноклассового классификатора // Информационные системы и технологии (ИСТ-2021). — 2021. — С. 648–657.
3. **Гурина А.О., Елисеев В.Л.** Критерий оценки качества классификации за пределами обучающей выборки // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. — 2022. — № 1. — С. 98–110. — DOI 10.24160/1993-6982-2022-1-98-110.

А.С. Безверхов, студ.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТРОЛЬ СОТРУДНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ И ГЕОЛОКАЦИИ

С развитием методов искусственного интеллекта и мобильных технологий актуальной становится задача автоматизации мониторинга сотрудников на рабочем месте. Данное исследование посвящено разработке мобильного приложения, которое сочетает алгоритмы распознавания лиц на основе предобученных моделей TensorFlow [1] и Firebase ML Kit [2] с системой геолокационного контроля, обеспечивая двойной уровень проверки.

На первом этапе был проведен обзор современных алгоритмов распознавания лиц, реализованных в предобученных моделях. В рамках работы будет выполнено сравнение методов верификации, таких как косинусное сходство и евклидово расстояние, с целью выявления наиболее эффективного подхода для идентификации лиц [3, 4].

Для геолокационного контроля реализована система, фиксирующая GPS-координаты сотрудников и сверяющая их с границами рабочей зоны. Оценка точности алгоритмов геолокации будет производиться с использованием метрик среднеквадратичной ошибки (MSE — mean squared error), что позволит оценить стабильность работы системы в реальных условиях.

Цель исследования заключается в создании интегрированного решения для повышения безопасности и дисциплины сотрудников в корпоративной среде.

Литература

1. **TensorFlow**. Facial Recognition [Электронный ресурс]: <https://www.tensorflow.org> — Электронные данные. Режим доступа: URL: <https://www.tensorflow.org/tutorials?hl=ru>, свободный. — Загл. с экрана.
2. **Google**. Firebase ML Kit [Электронный ресурс]: <https://firebase.google.com> — Электронные данные. Режим доступа: URL: <https://firebase.google.com/products/ml-kit>, свободный. — Загл. с экрана.
3. **Hieu V. Nguyen, Li Bai**. Cosine Similarity Metric Learning for Face Verification [Электронный ресурс]: <https://www.researchgate.net> — Электронные данные. Режим доступа: URL: https://www.researchgate.net/publication/220745463_Cosine_Similarity_Metric_Learning_for_Face_Verification, свободный. — Загл. с экрана.
4. **Rachid Ahdid, Khaddouj Taifi, Said Safi, Bouzid Manaut**. Euclidean & Geodesic Distance between Facial Feature Points in Two-Dimensional Face Recognition System [Электронный ресурс]: <https://www.researchgate.net> — Электронные данные. Режим доступа: URL: https://www.researchgate.net/publication/220745463_Cosine_Similarity_Metric_Learning_for_Face_Verification, свободный. — Загл. с экрана.

И.К. Шпигун, студ.; рук. В.О. Писковский, к.ф.-м.н. (МГУ, Москва)

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕДУРАМИ РЕКОНФИГУРАЦИИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА

Развитие технологий Программно-Конфигурируемых сетей (SDN) приносит множество преимуществ благодаря своей гибкости и возможностям автоматизации. Однако решение проблемы восстановления сетевого состояния при возникновении неполадок остаётся критически важной задачей. При сбоях, таких как выход из строя коммутаторов, возникновение сетевых циклов или отказ сетевой аппаратуры, необходимо эффективно выполнять операции «redo» или «undo» для возврата сети в последнее корректное состояние.

Использование блокчейна в качестве журнала изменений для SDN предложено благодаря своим уникальным преимуществам. Блокчейн обеспечивает неизменность записей — каждое изменение состояния сетевого устройства фиксируется в блоке, криптографически связанном с предыдущими. Такое связывание гарантирует, что изменение или удаление записей остаётся невозможным без легко обнаружимой модификации всей цепочки, обеспечивая полную прозрачность и аудит всех действий. Это свойство предоставляет надёжное средство аудита и позволяет точно отслеживать все изменения в сети.

В данной работе проведён анализ методов восстановления в различных системах управления базами данных, таких как Oracle [1], Microsoft SQL Server [2], MySQL [3], PostgreSQL [4], MongoDB [5] и Cassandra [6]. Все они имеют свои особенности в управлении состояниями, которые можно адаптировать для сетевых устройств. Введено понятие «корректного» состояния сети, относительно которого будет выполняться откат или, напротив, восстановление сетевых устройств, что аналогично методам в традиционных СУБД. Таким образом, предлагаемый подход с использованием блокчейна в SDN предоставляет новый уровень надёжности и безопасности в управлении изменениями сети.

Литература

1. <https://www.oracle.com/cis/>-[Дата обращения 12.10.2024]
2. <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/?view=sql-server-ver16>-[Дата обращения 9.10.2024]
3. <https://www.mysql.com/>-[Дата обращения 12.10.2024]
4. <https://www.postgresql.org/>-[Дата обращения 10.10.2024]
5. <https://metanit.com/nosql/mongodb/>-[Дата обращения 10.10.2024]
6. https://cassandra.apache.org/_/index.html-[Дата обращения 10.10.2024]

М.М. Зайнутдинов, студ., Д.Г. Скоробогатов, студ., С.Ю. Хиль;
рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕКОРАТОРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПОТОКОВ БЕЗОПАСНОСТИ КОДА

Введение многопоточности в *Python*, особенно с отключением глобальной блокировки интерпретатора (*GIL*), открывает новые возможности для повышения производительности, но также увеличивает риск ошибок, связанных с некорректным управлением ресурсами, таких как гонки данных и взаимные блокировки [1]. Для минимизации этих рисков разработаны подходы к статическому анализу кода.

Один из подходов — использование аннотаций для описания зависимостей многопоточного кода, как в *C++* с макросами *Clang Thread Safety Analysis* [2]. В данной работе аналогичный подход применён к *Python* с помощью декораторов.

Декораторы *Python*, такие как `@requires_lock`, `@guards_variable`, и `@shared_variable`, упрощают статический анализ, позволяя аннотировать функции и переменные для описания условий потокобезопасности. Анализатор строит абстрактное синтаксическое дерево (*AST*), фиксирует аннотации декораторов, отслеживает контексты блокировок (*acquire/release*), проверки с использованием «*with*» и вызовы функций. На основе сопоставления текущего состояния контекстов с аннотациями он выявляет нарушения, например, доступ к переменным без необходимых блокировок, аналогично макросам в контексте *Clang Thread Safety Analysis* [2].

Существующие анализаторы *Python*, такие как *Pylint* и *Flake8*, проверяют качество кода, но не оценивают потокобезопасность. В отличие от них, *Clang* использует аннотации для анализа многопоточности, а динамические анализаторы находят ошибки только во время выполнения. Предложенный подход выявляет ошибки уже на этапе анализа кода.

Основное ограничение предложенного метода — необходимость строгого соблюдения использования декораторов при написании кода. Несмотря на это, предложенный подход демонстрирует потенциал статического анализа потокобезопасности в *Python* и может быть дополнен для более комплексного анализа.

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. **The Clang Team.** Clang Thread Safety Analysis Documentation. [Электронный ресурс] URL: <https://clang.llvm.org/docs/ThreadSafetyAnalysis.html>

*Д.Г. Скоробогатов, студ.; М.М. Зайнутдинов, студ.;
рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц.; рук. С.Ю. Хиль*

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СИМВОЛЬНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИКАЦИИ KLEE

Многопоточность, повышая производительность, усложняет анализ кода. Традиционные методы тестирования часто не способны охватить все возможные взаимодействия между потоками, что приводит к пропущенным ошибкам.

Инструмент анализа KLEE, основанный на LLVM, широко используется для символьного анализа, однако его возможности ограничены при работе с многопоточными приложениями [1]. В рамках данной работы представлена модификация KLEE, разработанная для более эффективного анализа многопоточных программ.

Модифицирован KLEE 2.2, обновив устаревшие LLVM/Clang и исправив возникающие ошибки API. Были исправлены критические ошибки управления памятью, выявленные с помощью AddressSanitizer, и внесены существенные изменения в реализацию StackFrame, StackType, Thread и ExecutionState для корректной работы с многопоточностью.

Модификация KLEE представляет собой значительный шаг вперед в области символьного анализа многопоточных приложений. Разработанные мной решения, включающие реализацию глубокого копирования объектов, связанных с потоками, централизованное управление памятью и улучшенную обработку списков потоков, позволяют более эффективно обнаруживать скрытые ошибки и уязвимости в сложных многопоточных программных системах, повышая надежность и безопасность разрабатываемого программного обеспечения.

В будущем планируется разработать новые методы оптимизации символьного исполнения для повышения производительности и масштабируемости

Представленная работа открывает новые перспективы для развития и применения символьного исполнения в анализе и верификации многопоточных программ.

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.

А. Даюб, студ.; рук. Е.А. Кучерявый, д.т.н., проф. (ВШЭ, Москва)

THE INTEGRATION OF EDGE COMPUTING INTO IoT APPLICATION USING ADVANTEDGE PLATFORM, CASE STUDY: MOBILITY

As the number of IoT devices connected to the internet increases, the amount of data explodes. This leads to a higher demand for internet speed during data transfer and more requirements for computing power and storage in central servers. To address these issues and enable real-time data processing while reducing network bandwidth utilization, edge computing has become a promising solution [1, 2]. This research focuses on the development of the IoT application on the edge computing platform in case of the mobility



Figure 1. Map view of the mobility of the UE from one edge to another

of the User Equipment (UE) to solve problems like latency and network bandwidth occupation for IoT applications while moving between two zones.

Our system consists of three main parts: an IoT sensor and two edge computing servers [2]. This process involves deploying IoT applications to an edge computing platform, which is in our case AdvantEDGE [3]. IoT applications simply receive data from IoT devices and apply processing to this data. Then test connectivity in case the UE moves between the two zones as shown in fig 1.

In conclusion we have presented a simulated model of an IoT application developed on an edge computing platform, and we come across the fact that using MEC with IoT we will be able to achieve latency around (30–50 ms) in case of the mobility between two zones. This model will open doors to other studies on the idea of developing IoT applications with the help of MEC, because the MEC is one of the main enabler technologies for IoT. What we can recommend after this study is to use edge server for critical applications.

References

1. **Mahbub M. et al.** Multi-Access Edge Computing-Aware Internet of Things: MEC-IoT // 2020 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE). IEEE, 2020. P. 1–6.
2. **Pan J., McElhannon J.** Future Edge Cloud and Edge Computing for Internet of Things Applications // IEEE Internet Things J. 2018. Vol. 5, № 1. P. 439–449.
3. **AdvantEdge Platform** [Electronic resource]. URL: <https://interdigitalinc.github.io/AdvantEDGE/>

М.М. Баруздин, студ.;
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТРАНСКРИБАЦИИ АУДИО- И ВИДЕО КОНТЕНТА

Современные технологии автоматической транскрибации аудио- и видеоконтента активно внедряются в различные отрасли и становятся важным инструментом для обработки информации. Они значительно ускоряют создание текстовых версий медиаматериалов, что упрощает анализ данных, поиск и интеграцию информации. Однако процесс автоматической транскрибации остаётся сложной задачей. Процесс сопровождается рядом проблем [1], которые ограничивают точность и надёжность систем.

Для преодоления этих трудностей активно совершенствуются современные алгоритмы и архитектуры, которые повышают точность и гибкость обработки речи. Благодаря использованию инновационных подходов, таких как глубокое обучение и гибридные модели, становится возможным не только повышать качество распознавания речи, но и оптимизировать системы для специфических задач и условий.

В рамках настоящего исследования были изучены основные этапы эволюции технологий Speech-to-Text (STT), начиная с традиционных методов на базе скрытых марковских моделей (НММ) [2] и завершая современными решениями на основе нейронных сетей. Рассмотрены архитектуры и возможности популярных open-source решений, а также проведён их сравнительный анализ обработки выдвинутых проблем.

Результаты исследования демонстрируют, что применение современных алгоритмов и подходов в системах автоматического распознавания речи (ASR) значительно улучшает обработку аудиоданных. Однако эффективность их применения зависит от специфики задачи, качества данных и требований к модели.

Литература

1. **Галунов В.И., Соловьев А.Н.** Современные проблемы в области распознавания речи // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2004. — № 2. — С. 41–45.
2. **Маковкин К.А.** Гибридные модели — Скрытые марковские модели / Многослойный перцептрон — и их применение в системах распознавания речи. Обзор // Речевые технологии. 2012. Выпуск 3. С. 58–83.

В.М. Могиленец, студ.;
рук. В.О. Писковский, к.ф.-м.н. (МГУ Москва)

ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ НА СУПЕР ЭВМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Существующие методы прогнозирования часто не учитывают динамическую природу вычислительной среды, что снижает точность прогнозов. Применение моделей машинного обучения позволяет создавать более гибкие системы прогнозирования, учитывающие широкий спектр факторов. Разработка и применение таких моделей повысит точность прогнозов и оптимизирует распределение ресурсов, что актуально для научных исследований и практических приложений.

Целью нашей работы является разработать модель нейронной сети, способную прогнозировать временные характеристики задачи, выполняемой на супер ЭВМ. Оценить обобщающие и предсказательные способности построенной сети.

Одной из главных проблем, которую мы выделили, стало отсутствие достаточного числа данных для обучения модели перед ее использованием. Для решения данной проблемы было принято решение заранее обучить модель, а в процессе ее работы дообучать модель с целью повышения точности.

В процессе работы были рассмотрены следующие классы нейронных сетей: Сверточные нейронные сети [1], Рекуррентные нейронные сети [2], Сети Колмогорова-Арнольда [3], Многослойный персептрон [1]. Для дообучения моделей в реальном времени были рассмотрены алгоритмы: Мини-батчевый градиентный спуск [4], Адаптивный градиентный спуск [5], Обучение с подкреплением [6].

Результаты работы будут представлены на конференции.

Литература

1. **В.О. Писковский, Е.О. Лычева, В.М. Могиленец.** Прогнозирование временных характеристик прикладных сетевых сервисов. Сборник трудов Пятой международной научно-технической конференции «Современные Сетевые Технологии (MoNeTeC)», 2024, Москва, Россия. Сборник находится в печати.
2. **Potter, Kaledio.** RECURRENT NEURAL NETWORKS (RNNs) FOR TIME SERIES FORECASTING. Journal of Deep Learning Computer Vision and Digital Image Processing (2024).
3. **Somvanshi, Shriyank & Aaqib Javed, Syed & Islam, Md Monzurul & Pandit, Diwas & Das, Subasish.** A Survey on Kolmogorov-Arnold Network. 10.48550/arXiv.2411.06078 (2024).
4. **Lok, Jackie & Sonthalia, Rishi & Rebrova, Elizaveta.** Discrete error dynamics of mini-batch gradient descent for least squares regression. 10.48550/arXiv.2406.03696 (2024).
5. **Бритов, В.С & Мартышкин, А.И & Данилов, Е.А.** Обзор и сравнение методов оптимизации применяемых в машинном обучении. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. 97. 45–49. 10.18411/trnio-05-2023-655.
6. **Мао, Xiao & Wu, Guohua & Fan, Mingfeng.** DL-DRL: A double-layer deep reinforcement learning approach for large-scale task scheduling of multi-UAV. 10.48550/arXiv.2208.02447.

Я.А. Комаров, Д.А. Емельянов, студ.;
рук. М.А. Орлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОРТАЛА ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Портал «TrafficHub», созданный студентами и сотрудниками кафедры ВМСС МЭИ, представляет собой мощный инструмент, который позволяет исследователям загружать и визуализировать корпуса данных сетевого трафика в формате .csv [1]. В предыдущей версии портала отсутствовал единый пользовательский интерфейс. Это значительно усложнило процесс добавления новых элементов интерфейса. Кроме того, серверная часть приложения не имела логического разделения, что создавало дополнительные трудности при внедрении новых модулей, таких как личный кабинет и модуль авторизации [2].

Для решения этих проблем, а также для структуризации составных компонентов портала была создана модифицированная версия портала. Она включает в себя реализацию единого пользовательского интерфейса, а также логически разделенные модули серверной части приложения. Модификация портала обеспечила простоту и удобство интеграции модулей авторизации и личного кабинета.

В докладе представлены результаты разработки модернизированной версии портала с обоснованием технологий NestJS и ReactJS, которые разработчики предлагают использовать в своих статьях [3] и [4].

Литература

1. **O.P. Morozova, M.A. Orlova, N.A. Naumov, L.I. Abrosimov.** “Developing a traffic analysis suite for modified packet capture file”. National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Krasnokazarmennaya 14, build. 1, Moscow, 111250, Russia.
2. **A. Hoffman.** “Web Application Security: Exploitation and Countermeasures for Modern Web Applications”. O’Reilly Media. ISBN 9781492053088, 1492053082. 330 стр.
3. **B. Zima, M. Barszcz,** “Comparative analysis of Node.js frameworks”. *Journal of Computer Sciences Institute*, 30, 26–30. URL: <https://doi.org/10.35784/jcsi.5364>
4. **R. Jonathan, Suprihadi.** “Development of Front-End Web Applications Utilizing Single Page Application Framework and React.js Library”. *International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS)*, 3(3), 529–536. URL: <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v3i3.1943>

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ NETFILTER ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ

В настоящее время важно обеспечить безопасность работы сетевых систем [1]. Уровень и сложность кибератак постоянно увеличиваются, по данным Cybersecurity Ventures, количество атак на предприятия мира вырастет с 3,5 трлн в 2015 году до 10,5 трлн в 2025 году [2]. Это свидетельствует о том, что с каждым годом находят новые уязвимости. Для понимания обработки и фильтрации трафика и обнаружения уязвимых мест следует исследовать современный исходный код модуля ядра Linux Netfilter и инструменты для создания различных правил отсеивания трафика.

В докладе представлен разработанный стенд для тестирования цепочек INPUT и OUTPUT. Будут продемонстрированы выявленные этапы обработки цепочек и программные средства для настройки правил фильтрации и тестирования настроек.

Литература

1. **Derek S. Reveron, John E. Savage.** Security in the cyber age: an introduction to policy and technology, 2024.
2. Cybersecurity Ventures. Hackerpocalypse: Cybercrime Report 2016. <https://cybersecurityventures.com/hackerpocalypse-cybercrime-report-2016/>
3. **Ahmed, S., Akhter, R., Rahman, M.A., Islam, M.N., Hossain, M.F.** Analysis of Security Vulnerabilities in Linux Kernel. Information Security, 2022, P. 402–410.
4. **James Ransome, Anmol Misra.** Core Software Security. CRC Press, 2021, P. 45–87.

*А.С. Федулова, соиск., И.К. Лашков, студ., Я.А. Федулов, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОГРАММА ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ ПО КРИТЕРИЯМ С КРИТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

В настоящее время программы поиска выполняют значимую роль в различных отраслях деятельности. Определение необходимых критериев поиска и фиксация искомых значений используется в различных областях работы с данными [1]. Большое количество запросов может вывести систему из рабочего состояния, для предотвращения этого проводят нагрузочное тестирование.

Разработана программа web-сервер на языке Python, которая позволяет выполнять поиск и выводить информацию о найденных объектах. Реализован механизм поиска объектов по заданным критериям с использованием сервиса Яндекс.Карты, сохранение результатов поиска выполняется в базе данных, в ходе тестирования подтверждено выполнение заявленных функций и подтверждена работоспособность программы в различных условиях. Обеспечена возможность установки программы на сервер под управлением операционной системы из семейства Linux.

Для реализации тестирования с критической нагрузкой была спроектирована и реализована программа, позволяющая симитировать одновременное получение запросов от 1000 пользователей и определить производительность разработанного web-сервера. За счет использования параллельных потоков среднее время обработки 1000 сообщений было сокращено с 10,2 до 7,3 с. Программа web-сервер продемонстрировала стабильную работу без отказов в течение всего времени теста, функции программы выполнялись без ошибок и задержек. Тестирование с критической нагрузкой показало, что программа сохраняет стабильную работу при использовании нескольких потоков для параллельной обработки большого количества входных сообщений.

В дальнейшем предполагается добавление новых поисковых функций, оптимизация производительности web-сервера, улучшение интерфейса и удобства использования и работы с программой.

Литература

1. **Качинкина Е.А., Устинова Ю.С., Микрюков В.О.** Основные методы сбора данных // «Теория и практика современной науки» № 12(66), 2020.

Г.В. Беликов, асп.;
рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСУ «MoPe»

В настоящее время активно обсуждается построение информационной система Морречфлота (ИСМРФ), которая использует спутниковые каналы связи не только для мониторинга местоположения судов, но и передачу трафика цифровых данных для решения информационных задач, обеспечивающих эффективную логистику для российского флота.

Для спутникового сегмента связи, осуществляющего передачу данных ИСМРФ, не определены размеры трафика и требуемых полос частот, определяющих организацию и оплату функционирования ИСМРФ.

К проблемам реализации спутниковой части ИСМРФ следует отнести отсутствие выделенных ресурсов для передачи данных на российской группировке отечественных спутников и инфраструктуры для их обслуживания.

Целью исследований является согласование объема трафика и выделяемых технических ресурсов для эффективного функционирования ИСМРФ. Для достижения поставленной цели разработана математическая модель АСУ «MoPe», базирующаяся на методе контуров [1] и позволяющая учесть специфику ИСМРФ.

Проведение расчетов вероятностно-временных характеристик с помощью программного обеспечения предложенной математической модели АСУ «MoPe» позволит ускорить процесс разработки инфраструктуры ИСМРФ, в том числе и для обеспечения работы спутников.

Результатом настоящей работы является построенная математическая модель АСУ «MoPe», учитывающая влияние всех компонентов тракта передачи данных, особенности спутниковых каналов связи для мониторинга судов и описывающая зависимости нагрузочной способности всей АСУ от ее параметров.

Литература

1. **Абросимов Л.И.** Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ: Учебное пособие. — СПб: Издательство «Лань», 2018. — 212 с.

*И.В. Довгошапка, студ.;
рук. В.Л. Широков, ст. пр., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ САМОСВАЛОВ

Объект модернизации — система сбора и обработки данных роботизированного самосвала, включая новые программные компоненты.

Исходные условия:

- поддержка сбора и обработки данных в реальном времени и логирования событий;
- необходимость автоматического восстановления работы CAN-интерфейсов;
- интеграция с другими бортовыми системами через TCP/IP-сервер.

Существующие проблемы:

- неконтролируемые временные задержки и возможные сбои в работе CAN-интерфейсов;
- недостаточная скорость анализа и обработки данных;
- ограниченные возможности диагностики и восстановления системы.

Цели модернизации — улучшение надежности и эффективности функционирования системы сбора и обработки данных:

- обеспечение непрерывного мониторинга состояния CAN-интерфейсов;
- автоматизация процесса восстановления и диагностики системы;
- повышение скорости и точности анализа данных.

Решаемые задачи:

- разработка системного журнала событий для мониторинга действий с CAN-интерфейсами;
- реализация TCP/IP-сервера для связи с бортовым компьютером;
- создание диагностической программы для восстановления работы CAN-интерфейсов;
- разработка аналитического парсера для обработки логов данных.

Ожидаемые результаты:

- повышение надежности и отказоустойчивости системы;
- снижение времени простоя и улучшение качества обслуживания;
- ускорение обработки данных и повышение эффективности системы сбора данных.

*Д.С. Синьбухов, М.С. Синьбухова, студ.;
рук. Р.А. Сабитов, к.т.н., доц. (КНИТУ «КАИ»)*

УМНАЯ ЛОГИСТИКА: МЕТОДОЛОГИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСКЛАДОЧНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

В условиях глобализации и растущей конкуренции, оптимизация логистических операций приобретает критическое значение. Традиционные методы управления сложными многоскладочными цепями поставок часто оказываются неприемлемыми для обеспечения требуемой скорости доставки, минимизации затрат. Также возникают трудности с гибким реагированием на колебания спроса и форс-мажорные обстоятельства.

Цель работы — создание методологии применения цифровых двойников с целью оптимизации путей поставок между складскими единицами.

Задача — предложить и проанализировать эффективность методологии цифровых двойников в контексте оптимизации логистических операций в рамках концепции «Умная логистика» и Индустрии 4.0.

В рамках работы была проведена оценка применимости существующих подходов, выявлены ограничения и перспективы развития, а также сформулированы рекомендации по совершенствованию методологии и повышению эффективности её внедрения. Это позволит улучшить процессы принятия решений стратегического планирования распределения транспортных мощностей в инфраструктуре путей грузового сообщения, сократить риски потери финансовых ресурсов, повысить прозрачность перемещения грузов, ускорить введение инноваций в отрасли. Кроме того, это стимулирует рост уровня автоматизации логистических операций, способствуя созданию более интеллектуальных и устойчивых систем управления цепями поставок.

Таким образом, разработка и внедрение инновационных подходов, таких как использование цифровых двойников для моделирования и оптимизации путей поставок, становится актуальной задачей, позволяющей значительно повысить эффективность и конкурентоспособность логистических компаний.

Литература

1. **Lobkov K.YU.** Application of the digital twin methodology in the development of innovative projects at high-tech manufacturing enterprises
2. **В.Л. Баденко, Н.С. Большаков, А.А. Федотов, В.К. Ядыкин** Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы.
3. **А.Д. Столяров А.М. Файзулина В.И. Абрамов** Цифровая трансформация логистики предприятия с использованием цифровых двойников.
4. **Р.Р. Сафиуллин Л.А. Симонова** Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы.

В.А. Суховерхий, соиск.;
рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВВОДА, УПРАВЛЯЕМОГО МЫШЕЧНЫМ СИГНАЛОМ

На сегодняшний день на территории Российской Федерации учтено 10,9 миллиона человек с инвалидностью, что составляет 7,5% от общей численности населения страны. Доля инвалидов с ампутациями верхних конечностей в России в целом составляет 10%.

Отечественные и зарубежные компании предлагают различные решения на рынке ассистивных технологий: бионические протезы, нейроинтерфейсы и другие вспомогательные устройства-контроллеры. Но согласно данным российской компании «Instep», работа с компьютером при наличии протеза рук ограничена, в связи с невозможностью использовать сенсорный экран и тачпад, поскольку технология работает за счёт разности напряжения на поверхности. Так же основными недостатками существующих решений является недостаточная точность и задержка ввода и эмуляция исключительно периферийного устройства ввода «мышь».

Результатом работы является изделие, которое крепится на руку пользователя и за счет акселерационных датчиков считывает сигналы микродвижений мышц руки, переводя их в сигнал периферийных устройств стандарта USB-HID (клавиатура, мышь, геймпад) с дальнейшей передачей управляющего сигнала вычислительному устройству.

Для считывания микродвижений мышц используется акселерационный датчик.

По умолчанию устройство эмулирует устройство ввода «аэромышь», поскольку такой подход не требует специализированной адаптации устройства под особенности определенного пользователя, чем позволяет произвести первоначальную настройку.

Во время процесса адаптации устройство устанавливает зависимость микродвижений мышц к управляющим сигналам устройства ввода и, согласно этим зависимостям, модернизирует рабочее программное обеспечение универсального устройства ввода, адаптируя под определенного пользователя.

Такой подход позволяет достичь высокой точности работы устройства ввода, сохранив минимальную задержку ввода, и позволяя эмулировать расширенный спектр устройств ввода: «мышь», «клавиатура», «геймпад», при этом соответствуя стандарту USB-HID.

Т.С. Юлдошев, студ.; рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА ПО SQL

Владение языком структурированных запросов SQL — один из самых ключевых и востребованных компетенций в сфере ИТ. Умение писать запросы к базам данных ожидают от широкого круга специалистов — разработчиков, бизнес- и системных аналитиков, тестировщиков, аналитиков данных и т.д. В связи с этим крайне важно, чтобы студенты ИТ-направлений качественно осваивали этот язык в рамках учебного процесса.

В докладе рассматриваются процесс и принципы разработки интерактивного онлайн-тренажера по SQL на базе бесплатных open-source технологий, а именно — ЯП Python и СУБД Postgres, с целью внедрения в учебный процесс и замены (импортозамещения) существующей системы — TestSQL на базе Oracle APEX (О.В. Жнякин, ст. преп. каф. БИТ).

Проводится анализ: текущего решения, его недостатков, послуживших поводом для разработки нового решения, и достоинств нового решения в сравнении с ним. Также рассматриваются для сравнения другие, доступные в интернете, популярные решения: платформа онлайн-курсов stepik.org, где можно составить авторский курс с задачами типа SQL Challenge; веб-сайт sql-ex.ru; веб-сайт sql-academy.org.

Рассматриваются и анализируются способы автоматической проверки решения задач различных типов по SQL с точки зрения сложности реализации.

В результате ожидается, что разработанная система заменит старую, повысит качество учебного процесса по дисциплинам «Базы данных» и «Введение в SQL», где планируется использование системы. Таким образом, это внесет вклад к повышению качества образования будущих ИТ-специалистов, предоставляя им возможность овладеть языком SQL на высоком уровне.

Литература

1. **Рогов Е.В.** PostgreSQL 16 изнутри. — М.: ДМК Пресс, 2024. — 664 с.
2. **Документация к PostgreSQL [Электронный ресурс].** — URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/> (дата обращения 08.12.2024).

Секция 17

УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Control and intelligent technologies

Председатель секции: доц., к.т.н. Мохов Андрей Сергеевич

Секретарь секции: Гребенщиков Николай Ильич

А.С. Гаврикова, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ДЕБИТА СКВАЖИНЫ ОТ НАГНЕТАНИЯ ВОДЫ В ПЛАСТ

Для повышения нефтеотдачи на месторождениях широко применяется метод заводнения. Он заключается в закачке воды через специально пробуренные нагнетательные скважины, что позволяет увеличивать пластовое давление и создавать направленный поток жидкости, вытесняющий нефть к добывающим скважинам.

Одним из ключевых аспектов успешной реализации этого метода является моделирование процессов, протекающих в пласте, что позволяет оптимизировать режимы нагнетания и добычи [1]. Применение точных конечно-разностных гидродинамических моделей (ГДМ) ограничено их вычислительной сложностью, поэтому широко применяют более простые ёмкостно-резистивные модели (CRM). Однако важной проблемой является расчёт параметров CRM моделей, чему посвящен ряд работ [2].

Задача моделирования зависимости дебита скважины от нагнетания воды в пласт носит многомерный и нелинейный характер, так как имеется множество скважин для заводнения и добычи, что создает типичную систему MIMO (Multiple Input Multiple Output). В процессе проработки модели необходимо учитывать высокую степень неопределенности, так как параметры резервуара, такие как проницаемость пород, их пористость и строение, точно неизвестны и определяются исходя из сложных математических моделей. Именно поэтому целесообразно применять нейронные сети, которые способны эффективно обрабатывать и анализировать большие объемы данных, а также выявлять скрытые зависимости в нелинейных системах.

В рамках проекта разработана нейросетевая модель, созданная на основе синтетических данных по ГДМ, которая позволяет прогнозировать дебит скважины в зависимости от интенсивности нагнетания воды в пласт.

Литература

1. **Min C., Wang Y., Yang H. Zhao W.** Prediction of single well production rate in water-flooding oil fields driven by the fusion of static, temporal and spatial information // 2023, doi: 10.48550/arXiv.2302.11195
2. **Пятибратов П.В., Заммам М.** Оптимизация заводнения на основе модели CRM и решения задачи линейного программирования // SOCAR Proceedings Special Issue No. 2 (2023) P. 059–067.

Цинь Юйдэ, асп.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЛАНИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ ЭСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Параметрические алгоритмы оперативного обнаружения спонтанного изменения вероятностных характеристик (разладки) временного ряда, широко применяются в различных системах автоматизированного мониторинга [1]. Для такого применения их статистические характеристики должны быть предварительно найдены. Реально решить эту задачу в необходимом объеме возможно только с помощью специально спланированного имитационного эксперимента. Такого рода эксперимент должен отвечать ряду требований:

- при экспериментировании должны быть полностью воспроизведены все действия пользователя при дальнейшем практическом использовании исследуемого алгоритма обнаружения разладки;
- в ходе экспериментирования следует использовать рекомендованные в [2] унифицированные (типовые) значения основных параметров, влияющих на свойства контролирующего алгоритма, таких как среднее время между ложными тревогами $\bar{T}_{лт}$, величина разладки в относительных единицах δ для различных значений параметра решающей функции алгоритма обнаружения в пределах его возможного изменения;
- результаты эксперимента должны обеспечивать синтез рабочего алгоритма обнаружения в соответствии с требованиями пользователя, для чего по итогам исследования должны быть получены зависимости вида $h = \varphi(\bar{T}_{лт}; \delta)$, где h порог, в момент достижения которого решающей функцией подается сигнал о появлении разладки;
- должны быть оценены быстродействие алгоритма путем определения среднего времени запаздывания в обнаружении разладки $\bar{\tau}_{зап}$ как функции параметра решающей функции и величины δ для всех вариантов значений $\bar{T}_{лт}$, а также показатель его эффективности $E = \bar{T}_{лт} / \bar{\tau}_{зап}$
- должна быть гарантирована высокая точность и достоверность всего справочного материала, полученного с помощью моделирования.

Литература

1. **Ширяев А.Н.** Стохастические задачи о разладке // Изд-во МЦНМО, 2016, 392 с.
2. **Репин Д.С., Филаретов Г.Ф.** Методические аспекты исследования алгоритмов обнаружения разладки временных рядов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2020. № 1. С. 27–32.

Е.Д. Константинов, студ.; рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕХНИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ



Рис. 1. Пример анализа техники выполнения движений

Существующие методы оценки техники, основанные на субъективных наблюдениях тренеров, имеют ряд ограничений, таких как ошибки восприятия и недостаточная объективность. Тренер не может видеть все сразу, в отличие от программы, которая будет контролировать технику.

Интеллектуальная система анализа техники выполнения движений базируется на применении компьютерного зрения и нейронных сетей [1]. Компьютерное зрение используется для извлечения кинематических параметров движения спортсмена, включая углы в суставах, скорость и ускорение звеньев тела. Полученные данные анализируются с помощью нейронных сетей, которые обучены на эталонных образцах правильной техники выполнения упражнений. Такой подход позволяет не только объективно оценивать качество выполнения движений, но и выявлять ошибки, предоставляя тренерам и спортсменам ценную обратную связь для совершенствования техники.

На рисунке представлен пример анализа спортивных движений.

Таким образом, использование интеллектуальных систем на основе компьютерного зрения и нейронных сетей в спортивной практике позволяет значительно повысить оценку техники выполнения упражнений. Данные технологии находят применение в тренировках профессиональных спортсменов и любителей. Они открывают новые возможности для анализа и оптимизации движений, за счет прорисовки углов и контроля техники, при выполнении спортивных упражнений.

Литература

1. **Bishop С.М.** Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

А.С. Рехалов, студ.; рук. П.Е. Ганин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящей работе представлена разработка система управления для робототехнического комплекса с последовательным соединением звеньев, использующего шаговые электрические двигатели SMMS-ST. Актуальность работы заключается в необходимости создания эффективных и точных систем управления, способствующих высокому уровню автоматизации и повышению производительности в различных отраслях промышленности.

В процессе работы был проведен подробный анализ лабораторного стенда, включающего несколько шаговых двигателей с обратной связью по току и положению. Рассмотрены основные компоненты системы, такие как контроллер шагового двигателя и программируемый логический контроллер (ПЛК) Simatic S7-300, а также их регистры, необходимые для обеспечения функциональности системы: регистры значений угла поворота, скорости угла поворота и прочих.

В ходе разработки был изучен встроенный ПИД-регулятор, который обеспечил высокую стабильность и устойчивость системы в процессе работы. Особое внимание уделено разработке преобразователя значений регистров угла поворота и пропорционального (П) регулятора, реализованного на языке структурированного текста (STL). Это позволило оптимизировать работу системы управления за счет повышения точности регулирования. Для улучшения взаимодействия операторов с комплексом была проведена интеграция с человеко-машинным интерфейсом (HMI), что позволило упростить мониторинг и управление процессами. Была проведена подборка оптимальных параметров для регулятора, что значительно повысило эффективность работы системы, а именно уменьшило ошибку позиционирования, а также уменьшило время регулирования.

Литература

1. **Макаров И.М.** Системные принципы создания гибких автоматизированных производств. М.: Высш. шк., 1986. 175 с.
2. **Макаров И.М.** Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / И.М. Макаров.
3. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ STEP7. — Siemens.
4. **Валлер Д., Вернер Г.** Электропневмоавтоматика. Основной курс TP 201. FESTO, 2002.

*И.В. Шубин, асп.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н., доц. («НИУ МЭИ»)
А.Г. Калинин, студ. (ОАНО ВО «МосТех», Москва)*

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Введение. В современных условиях повышается потребность в интеграции различных систем для эффективного технического сопровождения. Разнородность программ для контроля состояния устройств приводит к сложностям при выявлении ошибок [1], а также негативно влияют на надёжность и отказоустойчивость программных решений [2].

Цель работы: определить возможности интеграции программного обеспечения для сокращения времени отклика операторов и повышения общей эффективности контроля.

Материалы и методы. В исследовании были рассмотрены восемь групп устройств 1) Печатные принтеры, 2) СКУД, 3) Дискретные датчики, 4) видеокамеры, 5) виртуальные машины, 6) ПК, 7) вентиляторы, 8) обогреватели с использованием стандартных программ (Windows Print and Document Service, PERCo-S20, SCADA, SecurOS, WSXI и другие). Проведён сравнительный анализ использования стандартных средств и интегрированной системы мониторинга на основе Zabbix — системы сбора и мониторинга и Grafana — программного решения для визуализации.

Результаты. Установлено, что при использовании разнородных программ оператор тратит от 3 до 50 секунд для диагностики неисправностей в зависимости от группы устройств, тогда как интегрированная система сокращает это время до 8–12 секунд.

Таблица 1. Оценка времени отклика на заявку при использовании стандартных средств мониторинга и интегрированной системы

	Гр. 1	Гр. 2	Гр. 3	Гр. 4	Гр. 5	Гр. 6	Гр. 7	Гр. 8
Станд., сек	33,1	22,9	6,75	12,0	11,2	19,3	5,4	4,96
Интегр., сек	11,2	9,5	8,4	9,2	10,3	11,2	8,1	8,3

Таким образом, используя интегрированную систему удалось повысить среднее время отклика на 34,1%, для групп 3, 7, 8 среднее время отклика снизилось. Поскольку стандартное решение для мониторинга устройств из этих групп SCADA-система предприятия, которая также является интегрированной системой, но с меньшим набором устройств.

Литература

1. **O'Neill, Vyas & Soh, Ben.** Improving Fault Tolerance and Reliability of Heterogeneous Multi-Agent IoT Systems Using Intelligence Transfer, 2022.
2. **Murphy, Killian & Lavignotte, Antoine & Lepers, C.** Fault Prediction for Heterogeneous Telecommunication Networks Using Machine Learning: A Survey. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2023.

К.Э. Ипатова, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОНОМНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

В настоящее время нейросетевые модели становятся более востребованными для моделирования динамических объектов и систем, благодаря их гибкости и относительной простоте применения. Однако, в отличие от линейных моделей, нейросети до сих пор недостаточно изучены и использование таких моделей требует дополнительного анализа и экспериментов, так как их нелинейная природа затрудняет прогнозирование качества работы и контроль точности результатов.

Основное отличие нелинейных систем от линейных заключается в том, что для них не выполняется принцип суперпозиции, так как форма выходного сигнала зависит не только от формы входного воздействия, но и от его амплитуды и частоты, что приводит к изменению характеристик системы в зависимости от этих параметров. Кроме того, нелинейные системы могут демонстрировать явления, которые не встречаются в линейных. Например, они могут иметь несколько устойчивых и неустойчивых состояний. Также стоит отметить, что частный вид нелинейности в таких системах часто трудно определить без построения подробной физической и математической модели.

Рекуррентные нейронные сети (RNN), и особенно их разновидности LSTM и GRU, получили широкое распространение в задачах моделирования и идентификации динамических систем. Эти архитектуры, например, были применены для моделирования промышленных и энергетических процессов [1], а также в системах температурного контроля и автономных системах мобильности [2], обеспечив при этом высокую точность предсказания. Нейронные сети являются нелинейными объектами и целесообразно исследовать их отличие от линейных.

В работе исследуется влияние вида пробного сигнала обучающей выборки на точность, чувствительность и частотные характеристики нейросетевой модели линейного динамического объекта. Проведенные имитационные эксперименты позволили выявить влияние частоты и амплитуды пробного сигнала на качество нейросетевого моделирования.

Литература

1. **Zarzycki K, Ławryńczuk M.** LSTM and GRU Neural Networks as Models of Dynamical Processes Used in Predictive Control: A Comparison of Models Developed for Two Chemical Reactors. *Sensors*. 2021; 21(16):5625.
2. **Jeon, B.K.; Kim, E.J.** LSTM-based model predictive control for optimal temperature set-point planning. *Sustainability* 2021, 13, 894.

В.В. Кулешов, студ.;
рук. Д.В. Вершинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О НОВОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ГРАНИЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Одним из ключевых вопросов в теории управления является анализ устойчивости. Одним из подходов к решению данного вопроса является применение различных критериев устойчивости. Особую группу в их числе составляют частотные критерии устойчивости [1, 2], базирующиеся на принципе аргумента, связывающем рост фазы, комплексной функции, получаемой при переводе исходного характеристического уравнения в частотную область. Как один из подходов можно предложить анализ динамики отношения мнимой составляющей комплексной функции к вещественной, то есть, анализ мнимо-действительной характеристики (МДХ) в процессе роста частоты. Несмотря на то, что МДХ до некоторого значения частоты ведёт себя, как квазитангенциальная функция, а затем с некоторым приближением обращается в линейную функцию, при обеих формах поведения МДХ полностью отражает динамику фазы исходной комплексной функции. Как было установлено, система устойчива, если: 1) График МДХ строго растёт; 2) Число полуветвей МДХ равно порядку системы, если свободный член характеристического уравнения не равен нулю, в противном случае число полуветвей МДХ на единицу меньше порядка системы. Ограничением применения МДХ является то, что анализировать с её помощью можно либо системы с ненулевым свободным членом независимо от их порядка, либо те системы с нулевым свободным членом, чей порядок выше первого. Также можно обратить внимание, что первое требование имеет алгебраический аналог: производная функции МДХ должна быть строго больше нуля. Данное требование можно преобразовать, в общем случае, в верхние и нижние границы для любого коэффициента исходного характеристического уравнения. При гарантии выполнения второго требования при любом значении исследуемого коэффициента, данный подход позволяет определить диапазоны его значений, в рамках которых исходная система устойчива. В связи с тем, что, можно сказать, собираются вместе отдельно проводимые проверка выполнимости второго требования и вычисление границ исследуемого коэффициента, данный подход предлагается назвать Соборным критерием.

Литература

1. **А.В. Михайлов.** Метод гармонического анализа в теории регулирования // Автоматика и телемеханика. 1938. № 3. С. 27–81.
2. **Б.К. Чемоданов.** Математические основы теории автоматического регулирования // Высшая школа. 1971.

Н.А. Назаров, асп.; рук. В.О. Толчеев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫЯВЛЕНИЕ СИНОНИМОВ И НЕЧЕТКИХ ДУБЛИКАТОВ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ В НАУЧНЫХ ТЕКСТАХ

Эффективное извлечение и обработка ключевых слов (КС) из текстовых документов являются важнейшими факторами для улучшения информационного поиска, генерации текстов и тематического моделирования. Однако вариативность языка, морфологические различия и опечатки приводят к тому, что одни и те же понятия могут быть выражены разными терминами, что затрудняет их идентификацию и анализ.

В данной работе предлагается метод выявления синонимов и нечетких дубликатов (не полностью совпадающих) КС с использованием предобученной модели RoBERTa [1], преобразующей КС в векторные представления с учетом их семантического сходства [2]. При этом КС предварительно извлекаются из текстов с помощью модели KeyBERT [3].

Для проведения исследований сформирован датасет, состоящий из 47 943 англоязычных библиографических описаний научных публикаций в области Computer Science. Проведена предварительная обработка, включающая удаление стоп-слов и лемматизацию. В качестве КС рассматриваются униграммы, биграммы и триграммы.

На основе косинусного сходства между векторами-эмбедингами экспериментально установлен порог, при котором образуются компактные кластеры малого размера (2–3 словосочетания), объединяющие семантически близкие КС. Для визуализации кластеров построены облака слов и граф связей между КС.

Объединение терминов в кластеры позволяет улучшить результаты работы информационно-поисковых и рекомендательных систем, расширяя исходный запрос (и профиль) пользователя путем присоединения КС из построенных кластеров. Это дает возможность учитывать семантическую близость терминов, что особенно важно при работе с объемными и разнородными массивами научных документов. Например, запрос «neural network» может быть дополнен связанными терминами из кластера, такими как «neural net» и «neural architecture», что обеспечивает более полное покрытие релевантных документов.

Литература

1. Liu Y., Ott M., Goyal N., Du J., Joshi M., Chen D., Levy O., Lewis M., Zettlemoyer L., Stoyanov V. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1907.11692>
2. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // arXiv preprint arXiv:1301.3781. — 2013.
3. Grootendorst M. KeyBERT: Minimal keyword extraction with BERT. 2020. URL: <https://github.com/MaartenGr/KeyBERT>

А.А. Беспалов, студ., М.А. Миронов, студ., О.В. Жнякин, соиск.;
рук. А.В. Ермаков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТАМИ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

Процесс выполнения выпускной квалификационной работы (далее ВКР) является сложно организованным процессом, на разных стадиях выполнения ВКР требуются различные инструменты и механизмы для получения качественного результата. С другой стороны, в сложившейся ситуации необходимо минимизировать усилия по организации и сопровождению ВКР как со стороны руководителей, так и со стороны администрации.

Для решения представленных проблем может стать разработка информационной системы, поддерживающей организационные аспекты ВКР на всех стадиях его выполнения. Коллектив разработчиков предлагает разработанную информационную систему, позволяющую автоматизировать деятельность всех участников: студентов, руководителей и организаторов ВКР, охватывающую все этапы дипломного проектирования. Система не только соответствует требованиям нормативных актов [1], но и поддерживает неформальные аспекты возникающие в ходе выполнения ВКР.

Разработанная система представляется в виде трехзвенной архитектуры. Клиентская часть была написана при помощи Vue JS — популярного веб-фреймворка для создания одностраничных веб-приложений с загрузкой контента в режиме реального времени. Серверная часть разработана при помощи языка PHP — стабильного и безопасного серверного языка программирования. В качестве базы данных был выбран PostgreSQL — самый популярная СУБД в России.

Результаты планируется внедрить во втором семестре 2024–2025 учебного года.

Литература

1. Приказ от 29 июня 2015 г. N 636 «Об утверждении порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры».

В.А. Волобуева, студ.;
рук. Д.В. Вершинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Современные достижения в области астрономии позволяют получать огромное количество данных о космосе, включая высококачественные космические снимки, которые содержат информацию о небесных объектах, таких как звезды, планеты, галактики и так далее. Однако анализ этих изображений требует значительных вычислительных ресурсов и времени, что затрудняет полноценную обработку больших массивов данных. В связи с этим, автоматизация процессов обработки и анализа таких снимков становится важной задачей для астрономического сообщества.

Обработка космических снимков представляет собой сложную задачу, поскольку необходимо обнаружить и классифицировать огромное количество объектов на изображениях с высокой степенью точности. Аналитику трудно справиться с такими объемами данных, поэтому системы автоматической обработки и анализа снимков могут повысить эффективность исследовательских процессов в астрономии.

В ходе исследования была разработана и реализована система автоматической обработки космических снимков. Она включает в себя несколько этапов, таких как: автоматическая аннотация снимков, сегментация объектов (галактики, звезды, планеты) и дальнейшая классификация галактик по их типам. Использование нейронных сетей позволило значительно повысить точность обнаружения и классификации объектов, а также ускорить процесс обработки данных.

Разработанные методы могут быть использованы для анализа снимков, получаемых космическими телескопами и спутниками. Данная система может стать основой для автоматических систем мониторинга космического пространства. Результаты работы также могут быть применены в задачах планирования космических миссий, где требуется обработка больших объемов изображений для поиска объектов, представляющих научный интерес. В перспективе данная разработка может быть интегрирована в автоматизированные платформы для анализа данных астрономических наблюдений.

Литература

1. **Николенко С., Кадуриин А., Архангельская Е.** Глубокое обучение. — Санкт-Петербург: Питер, 2018.
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.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПРОДУКЦИОННЫХ РАССУЖДЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Желание максимально автоматизировать процесс поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта — причина большого интереса к созданию систем поддержки принятия решения (СППР). Чаще всего для этого используются экспертные системы (ЭС), в которых обычно используют продукционные системы.

В исследовании были сформированы следующие задачи:

- рассмотреть основные понятия и определения экспертных систем;
- выбрать алгоритм продукционных рассуждений;
- разработать программу продукционных рассуждений;
- провести тестирование программы на тестовых и данных реального объекта.

В работе описываются методы продукционных рассуждений, структура экспертной системы и механизмы логического вывода. Рассматривается структура базы знаний для хранения продукций, используемые программные средства и функциональные возможности разрабатываемой экспертной системы.

На основе анализа достоинств и недостатков выявлен оптимальный метод продукционных рассуждений для данной работы — алгоритм Rete. Преимущества данного алгоритма: высокая производительность, так как алгоритм способен эффективно обрабатывать большие объемы знаний (0.1 мс при 10 правилах и 2 фактах), гибкость и масштабируемость системы. Недостатком является использование большого объема памяти, необходимой для хранения графа решений (при 10 правилах около 10 МБ). Из этого следует необходимость пересчитывать весь «тяжеловесный» граф решений при добавления нового правила.

Было разработано программное обеспечение для реализации данного алгоритма. Программа была протестирована на основе реальных данных по научно-исследовательским работам в вузах Российской Федерации.

На данный момент исследуется возможность модернизации системы принятия решений путем исследования иных методов продукционных рассуждений и возможности масштабирования системы.

Литература

1. **Поспелов Д.А.** // Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.

И.Ю. Сеннов, студ.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В ряде регионов при возникновении колебаний температуры воздуха относительно 0°C на высоковольтных линиях возникает гололед. Обледенение проводов приводит к увеличению их массы, что в свою очередь влияет на нагрузку на металлические опоры и может привести к обрыву проводов или разрушению опор [1]. Ликвидация последствий таких аварий приносит значительный экономический ущерб. Поэтому важно бороться с образованием толстого ледяного слоя на линиях электропередач.

Основными методами борьбы с гололедом на воздушных линиях являются термическое воздействие переменным или постоянным током. В работе рассмотрен метод нагревания проводов постоянным током до температур, способствующих удалению ледяной корки с линий электропередач [2].

Связь между пользовательским интерфейсом программного обеспечения и выпрямителями осуществляется через команды центрального контроллера. Значения параметров постоянного тока, соответствующих указаниям по плавке гололеда, а также схема включения выпрямителей вводятся оператором системы в интерфейс программного обеспечения. На основании введенных данных центральный контроллер системы должен сформировать управляющие сигналы выпрямителями для обеспечения на выходе системы заданного тока [3].

Программное обеспечение системы должно обеспечивать обмен данными с центральным контроллером, графическую визуализацию данных, ведение и хранение журнала событий, а также ввод управляющих команд и уставок.

Литература

1. **Никитин И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитин С.А.** Способы удаления льда с проводов линий электропередач // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 3 С. 794–823.
2. **ГОСТ Р 59965-2021.** Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Системы плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи. Выбор и обоснование принципиальных технических решений.
3. **Адамия Г.Г., Беркович Е.И., Картавых А.С. и др.** Статические агрегаты бесперебойного питания / Под ред. Ф.И. Ковалева. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 288 с.

А.Ю. Ванина, студ.; рук. А.С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ КОСИНУСНОЙ СХОЖЕСТИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ РАЗНОЙ ДЛИНЫ И ОБРАБОТКИ

Определение схожести текстов — нетривиальная задача, применимая в различных областях Text Mining, в т.ч. в задаче выявления плагиата, задаче кластеризации и классификации текстов. В статье сравним косинусную схожесть текстовых документов разной длины с разной обработкой.

В качестве исходных данных используется 2 датасета: `chatgpt_paraphrases` — содержит 419197 коротких вопросов, средняя длина которых 10 слов. Второй датасет `paraphrased_articles` содержит 69 статей, средняя длина которых 664 слов.

Для оценки схожести текстов используется косинусную схожесть, которая получена после предобработки текстов методами **TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency)** и **Word2Vec**. Косинусное расстояние варьируется от 0 до 1, где 0 указывает на отсутствие сходства, а 1 означает полное сходство. TF-IDF — это статистический метод, который оценивает важность слова в документе относительно всего корпуса документов. Он основан на двух компонентах: частоте термина (TF) и обратной частоте документа (IDF).

Word2Vec — это метод, использующий нейронные сети для обучения, при векторизации слов сохраняет семантические отношения между векторами слов.

Сравнение проводилось по медиане и 25 и 75 квантилям косинусного расстояния. На датасете `paraphrased_articles` при векторизации TF-IDF: 25 квантиль — 0.48, медиана — 0.55, 75 квантиль — 0.62. При векторизации с помощью Word2Vec: 25 квантиль — 0.999996, медиана — 0,999998, 75 квантиль — 0.999999.

Для датасета `chatgpt_paraphrases` с помощью векторизации TF-IDF: 25 квантиль — 0.25, медиана — 0,37, 75 квантиль — 0.48. Векторизация с помощью Word2Vec: 25 квантиль — 0.99992, медиана — 0,999953, 75 квантиль — 0.999972.

По результатам метод векторизации Word2Vec показал себя лучше, чем TF-IDF, как на длинных, так и на коротких текстах. Так же видно, что для датасетов с длинными текстами схожесть выше, чем для коротких текстов. Это говорит о том, что для коротких текстов изменение даже одного слова очень сильно влияет на итоговую схожесть.

Литература

1. **Top 7 Ways To Implement Document & Text Similarity In Python** URL: <https://spointelligence.com/2022/12/19/text-similarity-python/> (дата обращения: 25.11.2024).

*К.А. Заварин, ст.; А.Ю. Викторов, ст.;
рук. Е.В. Позняк д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТЕЛЕГРАМ-БОТА ДЛЯ ЦЕНТРА ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ МЭИ

Цель исследования — создание интеллектуального Телеграм-бота для информирования слушателей о работе Центра профессиональной переподготовки «Центр прочностных расчетов» при МЭИ, консультаций по профессиональным вопросам (механика, вопросы применения расчетного ПО, нормативные документы), исследования возможностей ИИ-бота в профессиональной сфере (строительная и вычислительная механика).

Задачи исследования:

- Разработка и внедрение Телеграм-бота с использованием Telegram API через библиотеку aiogram;
- Интеграция генеративной модели YandexGPT для формирования ответов на запросы пользователей;
- Реализация механизма Retrieval Augmented Generation (RAG) с помощью библиотеки ai-assistant для поиска релевантной информации в локальных базах данных;
- Оценка перспектив использования доученных моделей для повышения качества ответов.

Актуальность работы: увеличение объема данных и усложнение профессиональных задач требуют автоматизации процессов обучения и консультаций. Интеллектуальные чат-боты с генеративными моделями ИИ способны упростить поиск необходимой информации, а также уменьшить требуемое на это время.

Новизна проекта: проект впервые реализует интеграцию YandexGPT с технологией RAG посредством библиотеки ai-assistant в образовательной и профессиональной среде прочностных расчетов. Используемая архитектура позволяет формировать ответы на основе профессиональной информации из специализированных баз данных.

В настоящее время Телеграм-бот запущен и проходит обучение и тестирование на кафедре робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, проводятся исследования для оптимизации базы знаний. В перспективе предполагается дообучение модели по новой технологии LoRA для повышения точности и релевантности, а также подключение других open-source — моделей.

Литература

1. Яндекс. Облачные решения для машинного обучения. URL: https://yandex.cloud/ru/training/mlsolutions?utm_referrer=https%3A%2F%2Fweb.telegram.org%2F (дата обращения: 16.12.2024).

Д.А. Антипов, студ.; рук. А.С. Мохов, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО АВТОКОДИРОВЩИКА НА ОСНОВЕ LSTM ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ HTTP-ЗАПРОСОВ

С развитием информационных технологий и увеличением числа веб-приложений, использующих HTTP/HTTPS-протоколы, кибербезопасность становится одной из ключевых задач. Согласно последним исследованиям, около 80% веб-атак направлено через запросы HTTP/HTTPS, включая SQL-инъекции, межсайтовые скрипты (XSS), подделку запросов на стороне клиента (CSRF) и другие виды инъекций.

Традиционные методы обнаружения атак, такие как сигнатурный анализ, показали свою эффективность в распознавании известных угроз. Однако эти методы имеют значительные ограничения в условиях постоянно меняющихся сценариев атак и сложности современных веб-приложений. В связи с этим растет интерес к применению нейросетей.

Современные подходы к обнаружению веб-атак на основе глубокого обучения предлагают эффективные решения для анализа HTTP-запросов. Одним из ключевых направлений является использование нейронных сетей. Чаще всего используются автокодировщики — эти модели обучаются на нормальных запросах, чтобы выявлять аномалии. В других работах применяют архитектуры с механизмом внимания, который помогает сети фокусироваться на наиболее значимых частях запросов, или применяют гибридные архитектуры, такие как CNN-BiLSTM, которые объединяют пространственный анализ данных с временными зависимостями [1, 2].

В данной работе исследуется метод, основанный на применении автокодировщика с LSTM, обученном на нормальных HTTP-запросах. Модель воспроизводит запросы с малой ошибкой реконструкции (RE), а аномалии детектируются по высокой RE. Запросы кодируются как последовательности символов с использованием «one-hot encoding». Тестирование проводится на наборах нормальных и аномальных запросов, включая SQL injection, XSS и CSRF.

Литература

1. Начно-технический журнал ScienceDirect / Farhan Ullah, Shamsher Ullah, Gautam Srivastava, Jerry Chun-Wei Lin // IDS-INT: Intrusion detection system using transformer-based transfer learning for imbalanced network traffic: электр. версия. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864823000640> (дата обращения: 15.11.2024)

М.Р. Шарифуллин, студ.;
рук. В.О. Толчеев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ. ИХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ COMPUTER SCIENCE

Процесс извлечения ключевых слов играет ключевую роль в анализе текстов, таких как научные статьи, где важно выделить основные идеи и темы. Визуализация ключевых слов позволяет не только оценить их значимость, но и выявить закономерности, что является важным этапом для понимания и интерпретации больших объёмов текстовой информации. Кластеризация ключевых слов, в свою очередь, позволяет группировать схожие термины, облегчая понимание тематических областей.

В данной работе исследуются два современных метода по извлечению ключевых слов с разной обработкой исходных текстов: BERTopic [1] извлекает ключевые слова на уровне кластеров (или классов), имеющихся в выборке исследуемых статей, KeyBERT [2] формирует индивидуальный набор КС для каждого документа в отдельности.

Для проведения исследований сформирован датасет из набора данных ArXiv Dataset (24000+Papers), который включает в себя 41 000 библиографических описаний научных публикаций, относящиеся к таким областям, как Machine Learning, Computational Linguistics, Named Entity Recognition, Artificial Intelligence и Computer Vision.

В результате исследования извлечены ключевые слова с помощью методов BERTopic и KeyBERT. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, представлены «визуализированные» кластеры в виде диаграмм наиболее часто встречающихся ключевых слов и облаков терминов, оценена близость и взаимосвязи между тематиками (классами). Проанализирована возможность совместного использования ключевых слов, выявленных BERTopic и KeyBERT. Комбинированное использование методов помогает более детально уточнить описание каждого кластера, добавляя к общим темам более узкоспециализированные ключевые слова. Это может быть полезно для более качественного решения задач информационного поиска и тематического моделирования.

Литература

1. **Grootendorst M.** BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure. URL: <https://arxiv.org/abs/2203.05794>
2. **Grootendorst M.** KeyBERT: Minimal keyword extraction with BERT. 2020. URL: <https://github.com/MaartenGr/KeyBERT>
3. **Reimers N, Gurevych I.** Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. URL: <https://arxiv.org/abs/1908.10084>

В.А. Елисеев, асп.; рук. В.В. Гуренко, к.т.н., доц. (МГТУ, Москва)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕЙРОСЕТЕВОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для повышения качества нейросетевого детектора объектов выраженными окаймляющими прямоугольниками, на этапе обучения данные дополняются априорной информацией о ключевых точках и масках, что расширяет понимание структуры и ориентации объектов в сцене. Это позволяет повысить точность и универсальность решений, применимых в автономном вождении, видеонаблюдении и других областях.

Использование априорных данных о ключевых точках (голова, руки, ноги) и сегментах (точные границы объектов) улучшает детекторы на базе YOLOv8. Проведено сравнение детектора YOLOv8m с моделями, дополненными головами для ключевых точек (YOLOv8m-pose), сегментации (YOLOv8m-segment) и их гибридом (YOLOv8m-pose-segment). Тестирование на датасете MS COCO показывает, что включение дополнительных априорных данных повышает mAP, при этом не снижает скорость работы модели.

Сегментация объектов позволяет более точно определять границы, что отражается в росте показателей метрики mAP. Аналогично детектирование ключевых точек повышает понимание позы и положения объекта, улучшая качество распознавания.

Интеграция априорных данных о ключевых точках и сегментах в процессе обучения нейросети повышает качество детектирования объектов. Гибридный подход даёт наилучшие результаты, демонстрируя потенциал для дальнейших улучшений архитектур и оптимизаций под специфические условия применения.

Литература

1. **Ткаченко А.Л., Гераева Е.В., Степанова А.С.** Эволюция нейронных сетей // Информационные технологии в науке и образовании: сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч., Пенза, 20 янв. 2018 г. Ч. 1. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. С. 168–170.
2. **Шапиро Л., Стокман Дж.** Компьютерное зрение / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
3. **Галеев Д.Т., Панищев В.С.** Использование искусственных нейронных сетей для распознавания образов уличных сцен // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2020: тр. междунар. науч.-техн. конф., Одинцово, Московская обл., 16–19 нояб. 2020 г. Одинцово, Московская обл.: Центр информационных технологий в проектировании РАН, 2020. С. 132–134.
4. **Семенова А.Н., Аджиев Н.Д., Чочиева А.Н.** Сравнение современных методов детектирования объектов на изображении // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 56-3. С. 28–31.
5. **Харинов М.В., Толстой И.М.** Проблема детектирования объектов на изображениях сцены // Экономика. Информатика. 2019. № 4.
6. **Шнайдер А.С.** Детектирование объектов на изображениях на примере модели YOLO // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. 2018. № 15. С. 358–361.

М.М. Елисейкин, асп.; рук. В.Ф. Очков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

УСТРАНЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ДЕФИЦИТА В БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ АСУ ТП

Проблема метрологической совместимости анализируемых данных существовала всё время развития науки и техники [1]. Создание единых систем единиц измерения, а так же развитие средств измерения не привели к полному устранению данной проблемы, так как при достаточно продолжительных наблюдениях возникает фрагментация временных рядов [2], а каждый фрагмент может иметь свои метрологические характеристики.

В настоящее время возникли дополнительные риски, связанные с массовым распространением технологий обработки данных. Некоторые риски связаны с самими цифровыми технологиями, а некоторые являются обострением старых рисков и переводом их на принципиально новый уровень. Одним из таких рисков является проблема связанная с перекладыванием работы с человека на компьютер.

Раньше контроль физического смысла был на стороне человека, когда он выбирал какой подход использовать. Сейчас же люди в массе используют готовые решения, не задаваясь вопросом, можно ли их использовать в конкретном случае. Однако, программы осуществляющие вычисления предназначены лишь для получения корректного математического результата и не оперируют понятием физического смысла применительно к конечному результату и исходным данным.

Последнее важно потому, что в случае анализа реальных данных (временные ряды полученные при наблюдении за физическим явлением, о машинное обучение и цифровые двойники в промышленности) приходится иметь дело не просто с абстрактными числовыми значениями, а с результатами измерений. Данные могли быть получены разными приборами с разной неопределённостью. Даже если данные могли быть получены одним и тем же прибором, то за время наблюдения прибор мог изменить метрологические характеристики (дрейф датчика).

И тут есть два пути решения проблемы: разработка и пропаганда методов анализа данных с учётом их разной неопределённости; сохранение не только числовых значений, но и данных об измерительных приборах (эта возможность уже есть в новом ГОСТ [3]).

Литература

1. **Елисейкин М.М., Очков В.Ф.** О метрологических характеристиках исторических данных // Законодательная и прикладная метрология. 2024. № 5. С. 47–51. <https://doi.org/10.32446/2782-5418.2024-5-47-51>
2. **Дещеревский А.В.** Проблема качества данных при режимном геофизическом мониторинге: кто виноват и что делать? // Наука и технологические разработки. 2024. Т. 103, № 3. С. 3–26. <https://doi.org/10.21455/std2024.3-1>
3. **Елисейкин М.М., Очков В.Ф.** Метрологический дефицит в промышленных «больших данных» // Законодательная и прикладная метрология. 2024. № 4. С. 19–24. <https://doi.org/10.32446/2782-5418.2024-4-19-24>

А.А. Глинский, асп.;
рук. М.Ю. Косинский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТРИК В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В современном мире программное обеспечение (ПО) широко применяется при создании систем различной сложности, становясь движущим механизмом их функционирования. Безотказное функционирование ПО играет основную роль в обработке данных, мониторинге безопасности, обеспечении охраны и защиты и коммуникативных связях услуг сети. Следовательно, обеспечение надежности ПО крайне важно для успешной работы системы и целостности данных в ней [1].

В перечень процедур по обеспечению надежности ПО входит, как сбор данных о его параметрах, так и расчёт по ним показателей надежности. Стоит отметить, что ПО может характеризоваться большим числом параметров, каждый из которых в отдельности или совокупности связан с определённым показателем надёжности.

Инструментами для обобщённой количественной оценки параметров программных процессов, продуктов или проектов являются метрики ПО [2]. Так, при помощи метрики SLOC (Source Lines of Code) определяется количество строк исходного кода, а следовательно и сложность программного продукта, что является необходимым условием для расчета плотности отказов ПО.

Тогда актуальной представляется цель исследования метрик, характеризующих группу параметров ПО, которые позволят определить показатели надежности и станут основой методов, обеспечивающих надежность системы.

В докладе рассматриваются ключевые показатели надежности ПО и исследуется применение метрик, необходимых для расчёта этих показателей.

Литература

1. **ГОСТ Р МЭК 62628-2021.** Надежность в технике. Руководство по обеспечению надежности программного обеспечения: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2021 г. № 990-ст: дата введения 01.01.2022.
2. **Aline Lopes Timóteo, Alexandre Álvaro, Eduardo Santana de Almeida, Silvio Romero de Lemos Meira.** Software Metrics: A Survey. — [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cin.ufpe.br/~alt/mestrado/qsic2008.pdf> (дата обращения 22.11.2024)

Д.Б. Ключковский, студ.;
рук. М.Ю. Косинский, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ С ДВИГАТЕЛЯМИ-МАХОВИКАМИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Актуальность разработки системы стабилизации и ориентации (ССО) для космических аппаратов (КА) обусловлена необходимостью обеспечения точной ориентации аппарата в космосе для выполнения целевых задач. Система стабилизации играет ключевую роль в поддержании нужной ориентации КА, что важно для корректной работы бортовых систем [1]. Одним из наиболее эффективных методов стабилизации является использование двигателей-маховиков, которые обеспечивают необходимые моменты для управления ориентацией.

Бортовой комплекс управления (БКУ) — это система, включающая аппаратные и программные средства для контроля полета и ориентации аппарата. Важнейшей частью БКУ является ССО, которая позволяет поддерживать нужную ориентацию аппарата относительно заданных осей. Для реализации системы необходимо учитывать характеристики КА, представленные в виде тензора инерции, а также динамическую модель самого аппарата. Эти параметры влияют на выбор и настройку исполнительных органов, таких как двигатели-маховики, которые создают моменты силы для корректировки ориентации аппарата [2].

Задача разработки системы стабилизации и ориентации с применением двигателей-маховиков заключается в точной настройке параметров этих органов управления с учетом характеристик КА. Маховики позволяют изменять углы ориентации аппарата путем создания реактивных моментов, что делает их эффективным инструментом для стабилизации даже при наличии внешних возмущений.

Таким образом, создание и настройка системы стабилизации и ориентации с двигателями-маховиками является важной задачей для обеспечения надежности и точности работы космических аппаратов. Использование современных методов моделирования и регулирования позволяет эффективно решать эту задачу и повышать эффективность работы космических аппаратов в условиях космоса.

Литература

1. 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.
2. **Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г.** Управление космическими летательными аппаратами. М., «Машиностроение», 1974, 340 с.

М.Н. Ломакин, студ.;
рук. М.Ю. Косинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ЧАТ-БОТА

Для обеспечения высокой скорости и эффективности взаимодействия с пользователями необходимо оптимизировать серверное программное обеспечение, на котором работает чат-бот. В современных условиях чат-боты находят широкое применение в различных сферах, таких как службы поддержки клиентов, продажи и образование. Ввиду высокой популярности могут иметь аудиторию, исчисляющуюся сотнями миллионов пользователей, что требуют высокой производительности серверов для обеспечения мгновенной реакции на их запросы.

Оптимизация серверного программного обеспечения является важным решением, которое приносит множество преимуществ. Среди них можно выделить уменьшение времени отклика, повышение устойчивости к высоким нагрузкам, улучшение пользовательского опыта и возможность обработки большего количества запросов в единицу времени. Эти факторы играют ключевую роль в обеспечении качественного взаимодействия с пользователями.

В данной работе предлагается исследовать влияние различных методов оптимизации серверного программного обеспечения на производительность чат-бота. Для этого проведено исследование применения различных подходов, таких как балансировка нагрузки, кэширование, горизонтальное и вертикальное масштабирование. Каждый из этих подходов имеет свои особенности и может по-разному влиять на производительность чат-бота.

Балансировка нагрузки позволяет равномерно распределять входящие запросы между несколькими серверами, что снижает нагрузку на каждый из них и повышает общую устойчивость системы. Кэширование, в свою очередь, помогает сократить время обработки повторяющихся запросов, сохраняя результаты предыдущих вычислений. Горизонтальное масштабирование предполагает добавление новых серверов в систему, что позволяет обрабатывать большее количество запросов одновременно. Вертикальное масштабирование, напротив, связано с увеличением мощности существующих серверов.

Проведен сравнительный анализ влияния этих подходов на производительность чат-бота.

Литература

1. Разработка высокопроизводительного кеш-слоя на основе Redis в телеграм-боте / Блог компании OTUS [Электронный ресурс] // Habr.com : [сайт]. — URL: <https://habr.com/en/companies/otus/articles/768230/> (дата обращения: 05.12.2024).

А.В. Кошмаров студ.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н. (ЧГУ, Чебоксары)

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

В современном мире умные города становятся символом устойчивого и технологичного развития. Они представляют собой интеграцию передовых технологий, таких как интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и большие данные, для создания комфортной, безопасной и экологичной городской среды.

Умный город — это концепция, которая предполагает использование интеллектуальных технологий для повышения качества жизни граждан и оптимизации управления городскими ресурсами. Ключевые цели таких городов включают: повышение энергоэффективности; улучшение транспортной логистики; уменьшение экологического воздействия; ускорение предоставления государственных услуг.

Технологии умных городов:

1. Интернет вещей (IoT): Умные датчики, размещённые по всему городу, позволяют в реальном времени собирать данные о состоянии дорог, уровнях загрязнения, использовании энергии и других аспектах.
2. Искусственный интеллект: Алгоритмы ИИ анализируют огромные массивы данных и помогают принимать решения: например, управлять транспортным потоком, предсказывать аварии или оптимизировать расход воды и электричества.
3. Большие данные: Технологии больших данных используются для мониторинга и прогнозирования поведения города. Это помогает предвидеть проблемы и устранять их до того, как они станут критическими.

В Сингапуре внедрены системы интеллектуального управления транспортом, которые сокращают заторы и время в пути. Барселона использует умное освещение и автоматизированный сбор отходов, что позволяет экономить ресурсы. В Москве активно развиваются проекты «Умный транспорт» и «Электронный дом», которые упрощают повседневную жизнь горожан. Преимущества умных городов очевидны: экономия ресурсов, повышение уровня безопасности и качества жизни. Однако такие проекты сопряжены с вызовами. Среди них: высокая стоимость внедрения технологий; проблемы кибербезопасности; необходимость адаптации законодательства к новым условиям.

Умные города — это будущее, которое становится реальностью уже сегодня. Они открывают новые возможности для устойчивого развития и решения глобальных проблем, таких как урбанизация и изменение климата. Однако для их успешной реализации необходимы совместные усилия государства, бизнеса и общества. Умные города не только меняют технологии, но и формируют новое видение городской жизни.

Литература

1. Аджемоглу, Д., Робинсон, Дж. Почему одни страны богатые, а другие бедные. — Москва: АСТ, 2021.
2. Глушков, В.М. Информационные технологии и управление городскими системами. — Москва: Наука, 2018.
3. Гудман, М. Будущее умных городов: технологии, которые изменят мир. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2020.

Секция 18

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ Computer-measuring systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Желбаков Игорь Николаевич

Секретарь секции: к.т.н., доц. Серов Андрей Николаевич

А.С. Криволюскова, студ.; рук. С.И. Герасимов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО СИМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

В современном мире, где электронные устройства играют всё более важную роль, измерение электрического сопротивления [1] является одной из ключевых задач. Точность и надёжность измерений напрямую влияют на работу электронных схем, а выбор метода измерения зависит от множества факторов, таких как требуемая точность, характеристики измеряемого объекта, наличие специализированного оборудования. Разработка программных инструментов для симуляции методов измерения сопротивления представляет собой актуальную задачу, позволяющую виртуальным образом изучить принципы работы измерительных устройств.

Настоящая работа посвящена разработке программы, предназначенной для симуляции методов измерения сопротивления [1], а также расчёта и анализа погрешностей результатов. В реальный физический стенд для измерения сопротивления входят: искомое сопротивление, мультиметр в режимах измерения постоянного напряжения (вольтметр) и постоянного тока (миллиамперметр), источник постоянного напряжения и известное сопротивление. При разработке применялись программные инструменты на языке высокого уровня Python с целью упрощения процедуры вычислений, визуализации электрических схем и последующего вывода полученных результатов. В основной части кода используется библиотека PySpice [2] для симуляции электронных схем и получения данных о напряжениях и токах.

В результате работы получена программа, способная реализовать следующие методы определения сопротивления: метод амперметра-вольтметра; метод, основанный на измерении тока при параллельном подключении известного сопротивления к исследуемому; метод замещения. Программный продукт может быть использован в образовательных целях для изучения электротехники, а также в исследовательских целях для анализа погрешностей измерения.

Литература

1. **Диденко В.И.** Основы метрологии. В 2 ч. Часть I. Основные понятия метрологии: учеб. пособие / В.И. Диденко, И.Н. Желбаков, Д.А. Чумаченко; под ред. В.И. Диденко. — М.: Изд-во МЭИ, 2019
2. **PySpice [электронный ресурс]** URL: <https://pyspice.fabrice-salvaire.fr/pages/documentation.html> [дата доступа: 14.11.2024].

*С.А. Подобуев, студ.; А.А. Крылович, студ.;
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ВЫХОДНЫМ ФИЛЬТРАМ МЕТОДА КВАДРАТУРНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ

Метод квадратурной демодуляции (КД) является активно исследуемым методом измерения параметров электрической сети. Рассматриваемый метод позволяет эффективно измерять амплитудное и фазовое значение, а также частоту отдельных спектральных компонент сигнала [1].

Основная идея метода КД заключается в следующем: входной сигнал перемножается с двумя ортогональными друг по отношению другу опорными гармоническими сигналами, частота которых фиксирована и выбирается близкой к частоте исследуемого сигнала. В результате получается два сигнала, которые содержат полезную низкочастотную составляющую и высокочастотную помеху. Для снижения значения помехи на двух измерительных каналах используются фильтры нижних частот (ФНЧ). После выполнения фильтрации амплитуда и фаза определяется соответственно как модуль и аргумент от получившего комплексного числа. Зная приращение фазы, можно рассчитать частоту сигнала.

Для обеспечения высоких метрологических характеристик требуются ФНЧ с высоким порядком, которые увеличивают время измерения за счёт увеличения переходных процессов. Методики снижения статических погрешностей [1] также повышают динамическую погрешность.

Предлагаемый подход основан на использовании нескольких измерительных каналов: в первом используется перемножение входного сигнала с опорными сигналами, во втором выполняется аналогичная операция, но при этом опорные сигналы имеют частоту, равную утроенной частоте входного сигнала. В процессе суммирования двух действительных и двух мнимых компонент друг с другом происходит увеличение частоты помехи в два раза, что позволяет уменьшить требования к ФНЧ.

В результате анализа модификации с помощью программы Simulink было выяснено, что она эффективна при измерении основной спектральной составляющей при наличии незначительного количества гармоник. Основными источниками погрешности является конечное затухание в полосе заграждения ФНЧ, неточная подстройка времени начала выполнения измерения и неполное соответствие частот входного сигнала и опорных сигналов демодулятора.

Литература

1. **Serov A.N., Podobuev S.A., Krylovich A.A.** Comparative Analysis of Techniques for Reducing the Signal Parameters Measurement Error for the Quadrature Demodulation Application // 2024 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2024. — С. 825–832.

*А.В. Павлович, студ. (НИУ «МЭИ»);
А.С. Орлов, студ. (НИУ «МЭИ»);
А.Э. Харинов, студ. (НИЯУ «МИФИ»);
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);*

ПРИМЕНЕНИЕ ОКОННЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЕТОДОМ ПО ПРИРАЩЕНИЮ ФАЗЫ

Измерение частоты электрических сетей в настоящее время — это важный аспект контроля и регулирования энергопотребления. В доступной литературе представлено множество классификаций цифровых методов измерения частоты [1]. Несмотря на хорошие метрологические характеристики большинства методов, в современных сетях имеют место быть шумы, гармоники и фликер. Поэтому, существующие методы нуждаются в модификациях, снижающих данную чувствительность к описанным выше особенностям.

Один из наиболее популярных методов измерения заключается в измерении частоты через анализ приращения фазы сигнала электрической сети. Идея метода основана на определении изменения фазы сигнала $\varphi(t)$ за определенный интервал времени. Если известна разность фаз между сигналами, то можно вычислить частоту этого сигнала по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt}.$$

Для определения значений фазы чаще всего применяется один из алгоритмов дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Точность измерения частоты с использованием этого метода во многом определяется погрешностью, связанной с эффектом «растекания спектра». Этот эффект происходит из-за некратности истинного значения периода сигнала интервалу времени, выделенному для выполнения ДПФ.

В статье предлагается подход для снижения погрешности измерения частоты методом по приращению фазы сигнала, основанный на применении оконных функций, а именно окон Хеннинга, как для случая синусоидального входного сигнала, так и для полигармонического. С помощью программных пакетов Matlab и Simulink предложена имитационная модель реализации рассмотренного метода измерения частоты. Отдельно рассмотрены вопросы применения различных оконных функций для разного числа аппроксимированных отсчетов, и оценки конечной погрешности измерения.

Литература

1. **М.М. Begovic, P.M. Djuric, S. Dunlap and A.G. Phadke.** «Frequency tracking in power networks in the presence of harmonics,» IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, no. 2, pp. 480–486, 1993.

*А.С. Орлов, студ.; А.В. Павлович, студ.;
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ПО ПРИРАЩЕНИЮ ФАЗЫ СИГНАЛА ДЛЯ СЛУЧАЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ БПФ

Точное измерение частоты электросети играет важную роль в управлении режимами генерации и потребления электроэнергии [1]. Существующие цифровые методы страдают от влияния шумов, гармоник и фликера. Для повышения точности и помехоустойчивости существующих методов требуется выполнять их модификации. В настоящей статье будет рассмотрен один из наиболее популярных методов — метод измерения по приращению фазы, основанный на измерении приращения фазы сигнала за известный промежуток времени [1]:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} \cong \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\varphi(n+m) - \varphi(n)}{mT_s},$$

где $\varphi(n+m)$ — значения фазы сигнала, полученные для отсчетов n и $n+m$.

Для определения фазы сигнала во многих случаях применяется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Точность измерения фазы с помощью БПФ существенно зависит от эффекта «растекания спектра». Гармоники и шумы входного сигнала также влияют на погрешность измерения частоты данным методом, по причине эффекта «растекания спектра».

В данной статье рассмотрена модификация метода по приращению фазы сигнала, которая состоит в выполнении измерения частоты всех получаемых алгоритмом БПФ спектральных компонент и выполнения последующего усреднения данных результатов. Показано, что предлагаемый подход позволяет повысить точность измерения частоты для случая полигармонических входных сигналов. Получено соотношение параметров сигнала (амплитудных значений спектральных компонент) при которых применяемый подход обеспечивает повышение точности измерения. Средствами пакетов Matlab и Simulink была разработана имитационная модель реализации рассмотренного метода измерения.

Литература

1. **A.V. Pavlovich, D.S. Evtekhova and A.N. Serov**, “Evaluating the Effectiveness of the Least Squares Technique to Improve the Efficiency of the Phase Increment Analysis Method,” 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russian Federation, 2023, pp. 1090–1094.

А.И. Нуртдинова, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВХОДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОТ ШУМА И ГАРМОНИК ДЛЯ МЕТОДА ПО ПЕРЕХОДАМ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ НУЛЬ

Одним из ключевых параметров электрической сети является частота сигнала, которая оказывает косвенное влияние на измерения активной и реактивной мощности, среднеквадратичного значения и других характеристик качества электрической энергии. Метод, основанный на определении переходов сигнала через нуль [1, 2], является наиболее распространенным среди методов измерения частоты во временной области. Период напряжения — время, за которое происходит одно полное колебание напряжения. Определяется как время между переходами через нуль, что позволяет наблюдать максимальную скорость изменения синусоидального напряжения. Переход через нуль фиксируется по изменению знака напряжения с отрицательного на положительный.

Частота основной компоненты напряжения f_1 , вычисляется по формуле:

$$f_1 = \frac{m}{t_{cz,m} - t_{cz,0}} = \frac{mf_s}{N + \eta_0 - \eta_m} = \frac{mf_s}{N + \eta}, \quad \eta = \eta_0 - \eta_m = \frac{\Delta t_0}{T_s} - \frac{\Delta t_m}{T_s},$$

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.

Метод обладает недостатками, такими как чувствительность к колебаниям сигнала около нуля, что затрудняет определение переходов, а также влияние шума. Для повышения точности возможно применение линейризации и фильтрации сигнала. Подходят различные цифровые фильтры: БИХ, КИХ, фильтр скользящего среднего и фильтр на основе преобразования Фурье. Задача статьи — выбор фильтра, обеспечивающего оптимальное подавление шума с учетом снижения погрешности измерения и сложности реализации. Рассматривается задача поиска оптимальной длины фильтра скользящего среднего для наилучшего подавления помехи. В результате была создана имитационная модель измерительного преобразователя частоты в Simulink и Matlab.

Литература

1. **K.A. Ivanenko and A.N. Serov.** “Zero-Crossing Technique Modification for the Frequency Measurements of Real Power Grids,” 2020 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 106–109.
2. **S.A. Podobuev, V.D. Kacharsky, A.I. Nurtdinova and A.N. Serov.** “Modification of the Adaptive Moving Average Filter for the Signal Parameters Measurement,” 2024 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Saint Petersburg, Russia, 2024, pp. 236–240.

Д.С. Евтехова, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАТОРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Измерение частоты является ключевой задачей в области электроэнергетики. Существуют условно «медленные» и «быстрые» методы измерения частоты. «Медленные» методы (метод по переходу сигнала через нуль, по приращению фазы и анализа амплитудного спектра), обладают высокой точностью измерений в условиях присутствия гармоник и шумов, но требуют значительного времени измерения, как правило кратного периоду входного сигнала. «Быстрые» [1] методы измерения (метод по трём отсчётам, метод по второй производной входного сигнала) позволяют получить результат с существенно меньшей задержкой, но обладают большой чувствительностью к наличию шумов и гармоник. Возникает задача повышения точности измерения для данной группы методов.

Для метода по второй производной алгоритм измерения частоты в дискретной области состоит в использовании следующего соотношения [1]:

$$f = \sqrt{-u''(t)/u(t)} \cdot 1/2\pi$$

где $u[n]$ — входной сигнал; $u''[n]$ — вторая производная входного сигнала.

Точность измерений зависит от соотношения выборок сигнала, используемых для вычисления второй производной. При отсчетах, близких к нулю, погрешность резко возрастает, поэтому результаты в таких случаях следует исключать. Для снижения влияния шумов на общую погрешность измерения можно использовать фильтрацию и метод наименьших квадратов.

Значительное влияние на конечную точность оказывает способ построения дифференциатора. Влияние вариантов построения дифференциатора на погрешность измерения частоты и посвящена настоящая публикация. В работе были рассмотрены дифференциатор по трём отсчётам, дифференциатор по семи отсчётам, и широкополосный дифференциаторы [2]. С использованием пакетов MatLab и Simulink разработана модель измерения частоты сигнала, основанная на описанном выше методе для случая различных дифференциаторов. Выполнен анализ влияния параметров сигнала на погрешность измерения частоты.

Литература

1. **A.M. Zayezdny, Y. Adler and I. Druckmann**, “Short time measurement of frequency and amplitude in the presence of noise,” in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 41, no. 3, pp. 397–402, June 1992.
2. **J. Devate, S.Y. Kulkarni and K.R. Pai**, “Wideband Differentiator and Integrator With Ideal Phase Response,” in Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 38, no. 4, pp. 294–299, Fall 2015.

Д.С. Евтехова, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ДВОЙНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

В настоящее время существует большое число цифровых методов измерения частоты. Большинство точных методов измерения [1], к которым относятся метод по переходам сигнала через нуль, метод по приращению фазы сигнала и метод на основе анализа амплитудного спектра, требуют значительного времени для выполнения измерений. Группа быстродействующих методов — метод по трём отсчётам и метод по второй производной входного сигнала — имеет низкую точность выполнения измерения в условиях присутствия шумов и гармоник во входном сигнале.

Для снижения недостатков обеих групп методов в настоящей статье был предложен новый подход, основанный на двойном интегрировании входного сигнала. Основная идея метода может быть представлена следующим соотношением:

$$f = \sqrt{-\frac{\int \int u(t) dt}{u(t)}} \cdot \frac{1}{2\pi}.$$

Выполнение двойного интегрирования в рассматриваемой задаче совмещено с рядом проблем. После выполнения каждого из интегрирований постоянная составляющая сигнала должна быть удалена. Это может быть эффективно решено путем выбора подходящего момента времени для выполнения интегрирования или применения высокочастотной фильтрации.

Основное достоинство предлагаемого подхода по сравнению с методами по трём точкам и методом по второй производной заключается в существенно меньшей зависимости конечной погрешности измерения частоты от входного шума и неосновных спектральных компонентов входного сигнала. Снизить влияние этих факторов на погрешность удастся значительно более простыми способами, чем в указанных «быстрых» методах измерения.

В работе построена имитационная модель данного метода измерения. Рассмотрены основные источники погрешности. Проанализирована чувствительность погрешности метода по отношению к входному шуму и гармоникам входного сигнала. Выполнена оценка времени выполнения измерения с учетом варианта реализации цифровых дифференциаторов.

Литература

1. A.N. Serov, E.A. Dolgacheva, A.A. Shatokhin, A. Novitskiy, S. Schlegel, D. Westermann, "Comparative Analysis of Digital Frequency Measurement Methods for Power Networks," 2020 3rd International Colloquium on Intelligent Grid Metrology (SMAGRIMET), Cavtat, Croatia, 2020, pp. 7–14.

Е.А. Будкина, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДСТРОЙКА ЧИСЛА ОТСЧЁТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТА РАСТЕКАНИЯ СПЕКТРА

В настоящее время измерение комплексного спектра стало распространённой задачей, поскольку он позволяет получить важные параметры электрической энергии, такие как среднеквадратичное значение, частота, амплитуда, а также параметры мощности и энергии.

Одной из основных проблем при измерении спектра сигнала является так называемый «эффект растекания» спектра. Этот эффект возникает из-за того, что в процессе дискретного преобразования Фурье, которое чаще всего применяется для анализа спектра, время измерения не кратно значению периода исследуемого сигнала. Существует несколько методов, позволяющих уменьшить эффект «растекания спектра» [1]. К ним относятся: подстройка числа отсчетов, подстройка частоты дискретизации, а также использование оконных функций. Каждый из этих методов имеет свои особенности, и в данной публикации будет рассмотрен наиболее простой в реализации и анализе — подстройка числа отсчетов.

Этот метод отличается простотой в использовании и не требует сложных манипуляций, однако накладывает определённые ограничения на выбор реализации дискретного преобразования Фурье. Суть метода заключается в том, чтобы изменением количества отсчетов N добиться выполнения следующего равенства:

$$T_A = N \cdot T_S = m \cdot T, \quad (1)$$

где T_A — общее время измерения; m — целое число; период сигнала; N — число отсчётов; T_S — шаг дискретизации.

Несмотря на все преимущества, этот метод имеет недостатки. Первый состоит в невозможности использовать быстрое преобразование Фурье (БПФ), так как для такого подхода нужно, чтобы число отсчетов N было выбрано равным степени двойки. Вторым недостатком заключается в ограничении точности подстройки конечным значением частоты дискретизации, что не позволяет снизить к нулю погрешность от эффекта «растекания спектра». В работе рассмотрены методы снижения эффекта «растекания спектра», их достоинства и недостатки. Также рассмотрен метод подстройки числа отсчетов, особенности его реализации, оценена предельная достигаемая погрешность измерения амплитудного спектра при данном подходе.

Литература

1. **A.N. Serov, A.A. Shatokhin and G.V. Antipov**, “Sample Rate Converter As a Means of Reducing Measurment Error of the Voltage Spectrum by Application of FFT,” 2019 29th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), Pardubice, Czech Republic, 2019, pp. 1–6.

Г.М. Веселов, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ, ОСНОВАННОГО НА НИЗКОЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Измерение среднеквадратического значения (СКЗ) имеет важное значение для всей области электроэнергетики. Существует множество цифровых методов измерения данного параметра, которые различным образом характеризуются с точки зрения скорости выполнения измерения и достигаемой точностью [1]: метод, основанный на усреднении квадратов отсчётов, метод низкочастотной фильтрации, метод по трём отсчётам, метод анализа амплитудного спектра и другие.

Целью данной работы является исследование метода измерения СКЗ, основанного на низкочастотной фильтрации [1]. Данный метод состоит в последовательном возведении входного сигнала в квадрат и выполнения низкочастотной фильтрации, позволяющей избавиться от высокочастотной составляющей сигнала-помехи.

Известно, что основной причиной возникновения статической погрешности для данного метода является конечное затухание его АЧХ в полосе заграждения. Данный параметр зависит от типа фильтра и его характеристик. В работе получена аналитическая зависимость, которая связывает погрешность измерения СКЗ с неравномерностью полосы пропускания фильтра для случая синусоидального и полигармонического входного сигнала.

Время установления фильтра определяет значение динамической составляющей погрешности для данного метода. В работе выполнена оценка времени установления для различных типов цифровых фильтров: Баттерворта, Чебышева первого рода, Чебышева второго рода, эллиптического, Кайзера, скользящего среднего. В аналитической форме показана связь между динамической составляющей погрешности измерения СКЗ и временем установления цифрового фильтра.

Произведена оценка влияния параметров измерительной системы и сигнала на погрешность измерения. Для изучения рассматриваемого метода была построена имитационная модель для случаев синусоидального и полигармонического сигналов, искаженных шумом. Моделирование выполнено с помощью программного пакета Simulink, что для данной задачи является простым и эффективным решением.

Литература

1. **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.

В.Д. Качарский, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К КОМПЕНСАЦИИ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРА СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО

Одним из самых распространенных устройств, выполняющих цифровую фильтрацию является фильтр скользящего среднего (ФСС). Применение данного фильтра можно найти в самых различных областях. Он занимает особое место в задачах измерений в электроэнергетике, таких как: метод квадратурной демодуляции, метод фильтрации при измерении СКЗ и активной мощности сигнала, метод измерения частоты по приращению фазы сигнала и других. Своё распространение данный метод заслужил благодаря относительной простоте реализации, линейной фазо-частотной характеристике, а также простотой подстройки длины фильтра.

Основной принцип работы фильтра: из обрабатываемого сигнала берется количество отсчетов N , для которых вычисляется среднее и используется в качестве текущего отсчёта выходного сигнала. Выходной сигнал позволяет снизить влияние высокочастотных помех и шумов.

Данный метод имеет недостатки: крутое изменение АЧХ в полосе пропускания и конечную неравномерность в полосе заграждения. Для борьбы с этими особенностями применяются методы корректировки частотной характеристики, в числе которых: изменение (уменьшение) основной частоты режекции, использование дополнительных каскадов ФСС одинаковой длины — последовательное соединение ФСС одинаковой длины, использование дополнительных каскадов ФСС различной длины, а также использование корректирующих фильтров КИХ или БИХ типов.

Обычно в качестве корректирующего фильтра применяются низкочастотные фильтры типа Чебышёва первого рода невысокого порядка, кроме того, существует возможность использования стандартных компенсаторов, применяющихся совместно с интеграторы-гребенчатыми фильтрами. Они является перспективными для дальнейших исследований, ведь существующие реализации позволяют эффективно корректировать АЧХ гребенчатых фильтров, которые имеют схожую характеристику.

В результате можно сказать о широкой распространенности и важности использования ФСС, отметить множество способов корректировки его характеристик. Дополнительно рассмотрен вопрос использования компенсаторов на базе структур с конечной импульсной характеристикой.

Литература

1. **A.N. Serov, K.A. Ivanenko and A.A. Shatokhin**, “Application of the Moving Average Filter for the Tasks of Electrical Power Parameters Measurement,” 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation, 2023, pp. 340–345.

*В.В. Коршунов, студ. (НИЯУ «МИФИ», Москва);
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Наряду со среднеквадратическим значением, частотой, активной и полной мощностью, реактивная мощность относится к показателям качества электро-энергии. Во временной области реактивная мощность [1]:

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)u\left(t + \frac{T}{4}\right) dt. \quad (1)$$

Сдвиг фазы сигнала напряжения $u(t)$ в выражении (1) обеспечивается с помощью цифрового фазовращателя, в качестве которого можно использовать интегратор [1] или дифференциатор. У интегратора есть преимущество — это фильтр низких частот (ФНЧ), подавляющий высокочастотные помехи, которые на практике всегда присутствуют во входном сигнале. Также у него есть и недостаток — после интегрирования к сигналу добавляется постоянная составляющая, коррек-ровка которой требует подстройки времени начала интегрирования.

Добавим постоянную составляющую к сигналу напряжения:

$$Q' = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \left(u\left(t + \frac{T}{4}\right) + U_n \right) dt = Q + \frac{U_n}{T} \int_0^T i(t) dt = Q + \Delta Q_n, \quad (2)$$

где U_n — постоянная составляющая и ΔQ_n — погрешность, вызванная U_n .

При измерении реактивной мощности электросети сигнал тока $i(t)$ является полигармоническим, следовательно $\Delta Q_n = 0$. Однако при отклонении формы сигнала от полигармонической или при неточном измерении периода T имеем $\Delta Q_n \neq 0$.

Дифференциатор не имеет приведённого выше недостатка, однако имеет другой — он является фильтром высоких частот, усиливающим высокочастотные помехи. Данный недостаток можно сгладить, задавая более высокий требуемый порядок входного ФНЧ измерительной системы или корректируя АЧХ дифференциатора в области высоких частот (например, используя дифференциатор более высокого порядка).

В работе рассмотрены варианты построения фазовращателя и их влияние на погрешность измерения реактивной мощности.

Литература

1. **Moulin E., d Electricite S., Dictionary S.** Measuring reactive power in energy meters // Metering international. — 2002. — Т. 1. — № 1. — С. 52–54.

Д.А. Чумаченко, асп.; рук. А.А. Шатохин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗА

Переходные процессы в электрических сетях могут происходить как при нормальных условиях эксплуатации, так и при аварийной работе. При нормальных условиях, переходные процессы в сети могут быть вызваны подключением или отключением нагрузок, источников напряжения или отдельных частей цепи. При аварийной работе, переходные процессы могут вызываться обрывом фазы, коротким замыканием или поломкой оборудования, подключенного к цепи. Переходные процессы в цепи могут сопровождаться перенапряжениями и сверхтоками, которые могут привести к нарушению работы оборудования или его поломкам. Отсюда следует необходимость определения момента начала переходного процесса, анализ его характеристик и определение источника его возникновения.

Определение переходного процесса и его параметров может производиться с помощью различных технических средств. Один из возможных методов заключается в использовании вейвлет-анализа. Суть вейвлет-преобразования заключается в представлении сигнала в частотно-временной области. При таком преобразовании происходит свертка исследуемого сигнала с вейвлет-базисом, который представляет из себя функцию, локализованную в пространстве и времени. Результатом такого преобразования является набор коэффициентов, по которым можно определить наличие спектральных составляющих в исследуемом сигнале, а также определить время, когда та или иная составляющая присутствует в исследуемом сигнале. Появление или исчезновение тех или иных спектральных компонент может говорить об изменении параметров исследуемого сигнала. В частотном случае изменение спектра сигнала может быть связано с появлением переходного процесса в электрической сети.

В данной работе оценивается возможность использования вейвлет-анализа в качестве инструмента, позволяющего определить время возникновения переходного процесса, его параметры, а также определить событие, вызвавшее переходной процесс.

Литература

1. **Малла С.** Вейвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005.
2. **Кравченко В.Ф., Чуриков Д.В.** Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами. М.: Техносфера, 2019.
3. **Смоленцев Н.К.** Основы теорий вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2014.

А.Э. Харинов, студ. (НИЯУ «МИФИ»);
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СПЕКТРА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКОН

Одним из наиболее эффективных методов исследования начальной фазы сигналов является спектральный анализ, который находит широкое применение в цифровой обработке сигналов. С применением окон можно значительно повысить точность и надежность измерений, позволяя выделять фазы интересных гармоник сигнала и минимизировать влияние шумов и эффекта «растекания спектра».

Если за время измерения укладывается нецелое число периодов сигнала $q = i + \theta$ ($-0,5 < \theta < 0,5$; i — целочисленное значение), то энергия сигнала не концентрируется на единственной спектральной компоненте, а распределяется по всему диапазону частот. Это приводит к появлению мнимых гармоник — проявляется эффект «растекания спектра».

Оконные функции — мощный инструмент для минимизации негативных последствий от шумов или некогерентной выборки отсчетов сигнала. Одним из, широко применяемых, временных окон является окно Хеннинга с зависимостью следующего вида:

$$w_n(k) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \right), \quad k = 0, 1 \dots N - 1,$$

где N — число отсчетов дискретного сигнала.

Тогда, уточненное положение частотного спектра может быть найдено:

$$q_m = \frac{f_m}{\Delta f} = i_m + \theta_m,$$

где f_m — номинальная частота m -ой гармоники, Δf — разрешение спектра, θ_m — отклонение реальной частоты m -ой гармоники от f_m .

Зная значение смещения θ_m для конкретной гармоники, можно также определить ее фазу путем интерполяции фазовых коэффициентов ДПФ [1]. Причем наращивая количество отсчетов спектра, по которым выполняется интерполяция, возможно повысить точность измерения, так как задействуется большая часть энергии сигнала, распределенной в спектре частот. В работе рассмотрено применение различных окон и различное число используемых спектральных отсчетов для выполнения аппроксимации и получения значения начальной фазы. Выполнено сравнение этих подходов с точки зрения сложности реализации и достигаемой погрешности. Построена имитационная модель в Matlab.

Литература

1. D. Agrez, "Improving phase estimation with leakage minimization," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, no. 4, pp. 1347–1353, Aug. 2005.

С.А. Подобуев, студ.; рук. А.Н. Серов, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА АНАЛИЗА СПЕКТРА СИГНАЛА

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) находит широкое применение в задачах измерения таких параметров электросети, как среднеквадратическое значение (СКЗ), фаза, частота, активная, реактивная и полная мощности. Одним из недостатков данного метода является возникновение “эффекта растекания спектра”, вызванного нарушением кратности между временем измерения и периодом входного сигнала.

При измерении частоты основной спектральной компоненты сигнала электросети из-за “эффекта растекания спектра” возникают мнимые спектральные компоненты, а у реальных спектральных компонент искажаются амплитудные значения и изменяется положения на частотной оси. Для уменьшения влияния данного эффекта применяются оконные функции, но из-за особенностей их формы возникают дополнительные искажения в спектре сигнала. Для устранения данного недостатка существует методика [1], основанная на использовании спектра оконной функции с целью устранения вносимых искажений окном. Основным недостатком этой методики является высокая сложность и отсутствия универсальности её применения для окон различных типов.

В настоящей статье рассматривается иной подход, основанный на аппроксимации положения максимума спектра полиномом 2-го порядка. Суть данного метода заключается в следующем: в начале выполняется умножение отсчётов сигнала на отсчёты оконной функции и после этого вычисляется ДПФ полученного раннее произведения. Затем определяется максимальное значение коэффициентов ДПФ, а также рядом стоящих с ним коэффициентов. Используя полученные значения ДПФ, производится аппроксимация спектра с помощью степенного полинома 2-го порядка. Используя полученные коэффициенты полинома, можно рассчитать экстремум полученной аппроксимирующей функции, тем самым получив более точное значение частоты измеряемой спектральной компоненты.

Для исследования рассматриваемого подхода разработана модель в программном пакете Matlab и Simulink. Данная модель позволяет определить погрешность измерения частоты, а также проверить эффективность рассматриваемого подхода для различного типа окон.

Литература

1. **Agrez D.** Frequency estimation of the non-stationary signals using interpolated DFT // IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IEEE Cat. No. 00CH37276). — IEEE, 2002. — Т. 2. — С. 925–930.

А.С. Кичка, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н. (НИУ МЭИ)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Измерение активной мощности — ключевой аспект электроэнергетики, позволяющий оценить эффективность работы электрических систем и устройств. Активная мощность — это мощность, которая преобразуется в полезную работу в электрической цепи. Она измеряется в ваттах и определяется как произведение действующих значений тока и напряжения, умноженное на косинус угла сдвига фазы между током и напряжением. Для ее измерения широко используется метод фильтрации.

Один из популярных методов измерения активной мощности основан на возведении отсчетов входного сигнала в квадрат и применения низкочастотной фильтрации. Метод характеризуется высокой точностью для измерения активной мощности как синусоидального так и полигармонического сигналов.

Одним из основных достоинств данного метода является то, что переменная во времени составляющая погрешности, может быть легко подавлена с помощью использования различных фильтров. Целью данной работы является построение имитационной модели в программе MatLab Simulink, реализующей рассматриваемый метод, а также изучение полученных в ходе реализации измерительного алгоритма погрешностей. Поиск оптимального цифрового фильтра с точки зрения достигаемой точности и сложности реализации.

Основная задача эффективного применения данного метода состоит в выборе оптимального фильтра, обладающего невысокой сложностью реализации и эффективным подавлением ненужной нам компоненты при вычислении активной мощности. Были рассмотрены разные типы низкочастотных активных фильтров. Также в работе была получена аналитическая зависимость, которая связывает погрешность измерения активной мощности от параметров фильтра. В работе были рассмотрены такие фильтры, как фильтр Баттерворта, скользящего среднего, Чебышева первого рода, Чебышева второго рода, эллиптический, Кайзера.

Литература

1. **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.
2. **Andrey N. Serov, Alexander A. Shatokhin, Nikolay A. Serov.** “Comparative Analysis of the Active Power Measurement Methods in Time Domain,” 2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), pp. 140–145, 2020.

*А.Д. Беглов, Д.И. Годыно, А.А. Опекунова, студенты;
рук. А.Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, Москва)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Волоконно-оптические преобразователи (ВОП) с внешней модуляцией [1] находят широкое применение в области датчиков и измерительных систем, благодаря бесконтактному характеру измерений, высокой точности, а также устойчивости к воздействию электромагнитного излучения [2, 3].

При разработке измерительных устройств одним из важнейших этапов является построение математической модели. Модель позволяет прогнозировать поведение устройства без длительных и дорогостоящих экспериментов, снижая затраты и сроки разработки. Целью работы является разработка математической модели ВОП для измерения угловых перемещений и дальнейшая проверка ее адекватности.

Моделирование зависимости тока фотодиода от угла наклона плоскости проводилось в среде MATLAB Simulink. В ходе работы получена зависимость угла падения луча светового потока источника на фотоприемник от угла наклона плоскости, расстояния от нее до плоскости торца волокон, а также конструктивных параметров ВОП. Проверка адекватности модели проведена на ВОП угловых перемещений, включающем одно передающее и одно принимающее оптическое волокно.

Практическая значимость модели заключается в прогнозировании пути световых лучей от источника до фотоприемника и их вклада в отклик с учетом влияния различных факторов. Разработанная модель позволяет получить оптимальные параметры ВОП для решения конкретной задачи.

В результате проведенного теоретического анализа и численного моделирования была получена математическая модель ВОП для измерения угловых перемещений, которая ляжет в основу будущей разработки данного измерительного устройства.

Литература

1. **Е.А. Зак.** Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией, М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. **Tuv A.L., Akatov M.S., Opekunova A.A., Starostenko V.I.** Overview of Fiber Optic Sensor Applications // 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon), Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 91–94, doi: 10.1109/ElCon61730.2024.10468384
3. **Y.I. Gudkov, V.N. Azarov and A.L. Tuv,** Fiber optic sensor for monitoring vibration load // 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS), Nalchik, Russia, 2016, pp. 57–60, doi: 10.1109/ITMQIS.2016.7751901

Секция 19 НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА Non-destructive control and diagnostics

Председатель секции: д.т.н., доцент Лунин Валерий Павлович

Секретари секции: Максимова Александра Алексеевна

А.А. Крылович, студ.; рук. Е.Г. Базулин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КЕПСТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭХОСИГНАЛОВ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ЭФФЕКТА СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ

В практике ультразвукового контроля широко применяется метод цифровой фокусировки апертуры (ЦФА) [1]. Для повышения лучевой разрешающей способности изображений можно использовать AR-модель спектра эхосигналов [2], однако для этого требуется знание импульсного отклика антенной решётки, который можно измерить на специальном образце из рексолита с плоскопараллельными гранями. Применение кепстрального анализа [3] для задач ультразвукового контроля позволяет определять импульсный отклик без его непосредственного измерения.

На рисунке ниже показаны ЦФА-изображения двух боковых цилиндрических отверстий диаметром 3 мм, восстановленных по исходным эхосигналам (а), по эхосигналам после построения AR-модели по измеренному импульсному отклику (б), с применением кепстрального анализа для определения импульсного отклика (в). Лучевая разрешающая способность на рис. 1б возросла примерно в 2,5 раза по сравнению с рис. 1а, а на рис. 1в дополнительно возросла ещё в 1,5 раза.

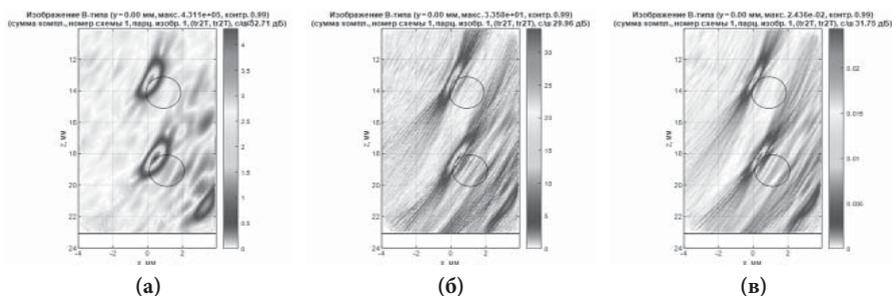


Рис. 1. ЦФА-изображения двух БЦО

Литература

1. Самокрутов А.А., Шевальдыкин В.Г. Ультразвуковая томография металлоконструкций методом фокусировки цифровой фокусировки антенной решётки // Дефектоскопия. 2011. № 1. С. 21–38.
2. Базулин Е.Г. Обработка TOFD-эхосигналов с целью достижения сверхразрешения // Дефектоскопия. 2021. № 5. С. 13–21.
3. В.Р. Bogert, M.J.R. Healy, J.W. Tukey. The quefrency analysis of time series for echoes: cepstrum, pseudo-autocovariance, cross-cepstrum, and saphe cracking, in: M. Rosenblatt (Ed.), Proc. of the Symp. on Time Series Analysis, Wiley, NY, 1963, pp. 209–243.

И.М. Боготов, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)»

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ АРМАТУРЫ ВИХРЕТОВОКОВЫМ МЕТОДОМ

Мониторинг состояния арматуры в железобетонных конструкциях является важной задачей неразрушающего контроля. Так, нарушение технологии процесса заливки бетона может привести к возникновению дефектов арматуры, что повлечет за собой потерю несущей способности конструкции и, как следствие, к возникновению аварийной ситуации.

В данной работе рассматривается возможность использования электромагнитного метода для выявления дефектов арматуры бетонных конструкций. Отличительными особенностями предложенного подхода являются конструкция преобразователя и информативный параметр — изменение индуктивности катушки. Для апробации предложенного подхода был проведен модельный эксперимент.

Конечно-элементное моделирование вихретокового преобразователя проводилось в программной среде COMSOL Multiphysics со встроенным модулем физики магнитных полей (Magnetic Fields).

Конструкция вихретокового преобразователя состояла из нескольких частей: многovitковая катушка, ферритный магнитопровод и алюминиевый корпус для внешнего экранирования (рис. 1). В ходе численного эксперимента было исследовано влияние основных мешающих факторов, а также получена зависимость индуктивности катушки от протяжённости области разрыва стрежня арматуры (рис. 2).

Модельный эксперимент показал, что система обладает хорошей чувствительностью к параметрам дефекта, что подтверждает ее пригодность для реальных условий эксплуатации.

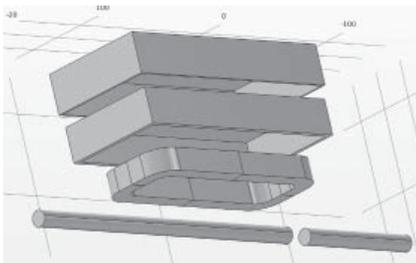


Рис. 1. Модель преобразователя (составляющие части разнесены)

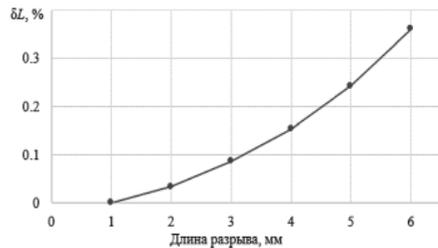


Рис. 2. Зависимость индуктивности от величины разрыва

Литература

1. **Alcantara JrN.P., Gonçalves JrL.** Simulation of an ECT Sensor to inspect the reinforcement of concrete structures.

А.К. Шепелев, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНО-ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТРУБ С ИЗОЛЯЦИЕЙ

Во многих странах мира проложены масштабные трубопроводные сети. Со временем воздействие климатических факторов вызывает коррозию труб из ферромагнитных сталей. Для оценки сплошной и/или локальной коррозии труб применяются различные диагностические методы. Импульсно-вихретоковый (ИВТ) метод, основанный на электромагнитных явлениях, обеспечивает глубокое проникновение поля и предоставляет детальную информацию о внутренней структуре исследуемого объекта. Благодаря этим свойствам метод является одним из наиболее эффективных в современной диагностике труб с внутренней и внешней изоляцией.

Конечной целью проводимого исследования является разработка импульсно-вихретоковой технологии для эффективного контроля корродированных ферромагнитных труб с изоляционным покрытием.

В работе с помощью численного конечно-элементного моделирования оптимизирован существующий ИВТ преобразователь из двух концентрических плоских катушек, спроектированный научной группой Технического университета Сиднея [1]. Варьируя различные параметры преобразователя, необходимо было получить оптимальные диагностические признаки. Для этого на численной модели исследованы изменяющиеся во времени разностные сигналы (“возмущения”, по отношению к сигналу без дефекта), вызванные изменением положения (глубины) и геометрических параметров дефекта-коррозии в форме диска разной толщины и диаметра в стальной ферромагнитной структуре. При изменении контролируемых (время переднего фронта, изменение геометрии катушек, включение в конструкцию сердечника с заданной магнитной проницаемостью) и неконтролируемых (магнитная проницаемость и электрическая проводимость ОК) параметров были достигнуты наилучшие по чувствительности характеристики сигналов.

В качестве информативных признаков из временных зависимостей разностного сигнала 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 применены специальные приемы локальной квадратичной аппроксимации.

Литература

1. **Ulapane N., Alempijevic A., Vidal T.C., Valls J.M.** Pulsed Eddy Current Sensing for Critical Pipe Condition Assessment.

Р.О. Белокопытов, студ.;
рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА И ФОРМЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В условиях, когда объекты могут быть скрыты от прямого обзора или труднодоступны, определение формы, материала и характеристик металлических изделий играет ключевую роль. Точные данные о материале позволяют отличать одни объекты от других, что полезно при поиске конкретных металлов или сплавов в сложных средах, например, в строительных конструкциях или под землей. Анализ формы дает возможность не только локализовать объект, но и понять его потенциальное назначение, что важно для идентификации предметов и оборудования.

Цель работы заключается в применении импульсного вихретокового метода для определения материала и формы объекта контроля. Для этого была создана конечно-элементная модель импульсного вихретокового преобразователя. Составными частями ВТП являются: многовитковая катушка с переменным током, оболочка из феррита, увеличивающая плотность магнитного потока, и экран из алюминия (рис. 1).

В ходе моделирования была получена зависимость индуктивности катушки от расстояния до металлического образца, выполненного из материалов с разными величинами проводимости (рис. 2). Эксперимент показал, что система обладает хорошей чувствительностью к проводимости объекта контроля и расстоянию до него, что позволяет применять её в задачах по обнаружению скрытых объектов.

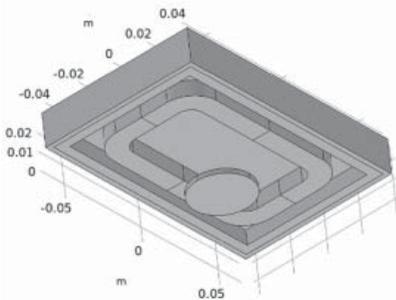


Рис. 1. Модель преобразователя и металлического образца

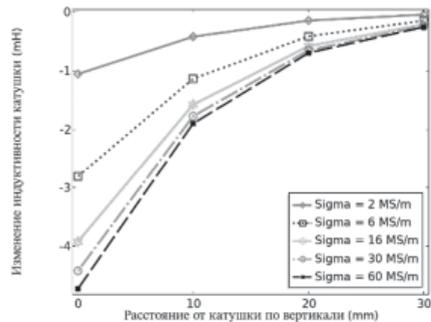


Рис. 2. Изменение индуктивности катушки от расстояния до образца

Литература

1. Alcantara JrN.P., Gonçalves JrL. Simulation of an ECT Sensor to inspect the reinforcement of concrete structures.

М. Дёминова, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОКУСИРУЮЩЕГО ИМПУЛЬСНО-ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИИ

Коррозия под изоляцией — это распространённая проблема, встречающаяся при эксплуатации трубопроводов в различных отраслях промышленности. Наиболее опасной формой коррозии является локализованный тип коррозии, который развивается на отдельных участках трубопроводов, подвергшихся воздействию агрессивной среды.

Импульсный вихретоковый контроль — это технология, основанная на проникновении электромагнитного поля через слои покрытия и/или изоляции, чтобы достичь поверхности материала и вызвать в нем вихревые токи. Этот метод обычно используется для обнаружения коррозии и измерения остаточной толщины стенок труб, которые покрыты изоляционным слоем, огнезащитой или покрытием, при этом отсутствует необходимость в удалении этого покрытия и/или изоляции.

В работе на конечно-элементной модели исследуется возможность применения фокусирующего импульсно-вихретокового преобразователя для обнаружения и оценки локальных (питтинговых) участков коррозии. Преобразователь представляет собой устройство из одной возбуждающей и двух измерительных индуктивных катушек, расположенных на П-образном магнитопроводе, обеспечивающем локализацию (фокусировку) магнитного поля на контролируемом участке (рис. 1).

Для выбора информативных признаков на численной модели были исследованы изменяющиеся во времени разностные сигналы (“возмущения”, по отношению к сигналу без дефекта), вызванные изменением геометрических параметров дефекта-коррозии в форме диска различной толщины и диаметра. Например, при возбуждении пачкой из двух периодов гармонического сигнала в качестве информативных признаков выбраны амплитуда и фаза разностного сигнала (рис. 2).

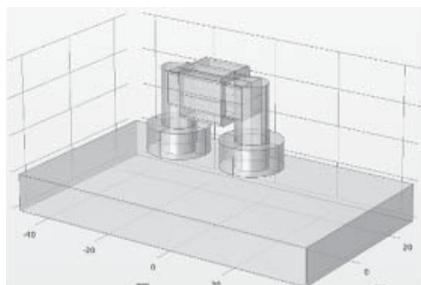


Рис. 1. Модель преобразователя

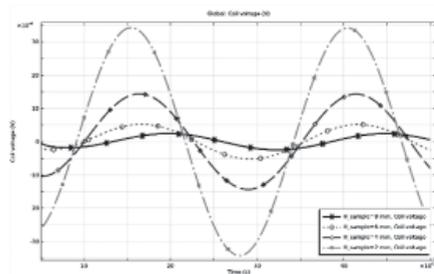


Рис. 2. Влияние толщины стенки трубы

М.А. Караваев, соиск.;
рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ

При ультразвуковом (УЗ) неразрушающем контроле (НК) ряда изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) нельзя осуществлять иммерсионный или сухой контакт УЗ пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) с объектом контроля (ОК). В этом случае используют бесконтактный контроль, а из-за аномально большого затухания ультразвука используют низкочастотные (НЧ) ПЭП со средней частотой $f_0 \approx 100$ кГц [1, 2]. Однако и при столь низких частотах УЗ сигнал сильно ослабевает как в самом изделии, так и при прохождении через границу раздела разнородных сред «ПЭП — воздух», «воздух — ОК», «ОК — воздух» и «воздух — ПЭП» из-за большой разницы в значениях акустических сопротивлений воздуха, пьезоэлемента (ПЭ) и полимера. По этой причине УЗ бесконтактный НК проводят в теновом режиме, используют ПЭП с максимально возможным коэффициентом электроакустического преобразования (ЭАП), а также стараются оптимизировать параметры бесконтактного контроля.

С этой целью для повышения чувствительности НК был разработан бесконтактный мозаичный УЗ НЧ ПЭП с поперечным возбуждением ПЭ, состоящий из набора разновысоких ПЭ и имеющий одновременно повышенный коэффициент ЭАП и широкую полосу пропускания. А с целью оптимизации параметров НК было рекомендовано выбирать протяженность воздушного промежутка между ПЭП и ОК, равную длине ближней зоны преобразователя в воздухе, при которой обеспечивается максимальная амплитуда УЗ сигнала, при условии, что в воздушном промежутке не будут возникать переотражения зондирующих сигналов.

При этом показано, что параметры согласующих слоёв УЗ бесконтактного ПЭП влияют не только на частотные характеристики преобразователя, но и на его пространственные характеристики (в том числе на положение максимума акустического поля ПЭП). Даны рекомендации по выбору оптимальных толщин согласующих слоёв.

Литература

1. **Hsu D.K.** Nondestructive testing using air-borne ultrasound // *Ultrasonics*. — 2006. — V. 44. — P. 1019–1024.
2. **Rostkowski K., Maghbooli N.** Air coupled ultrasound — new approaches in the field of coupling agent-free testing // *Proceedings of the 5th IRNDT Conference*. — 2018.

И.А. Диков, соиск.;
рук. А.С. Бойчук, к.т.н.

(НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Москва)

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ – СРЕДСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ В ДЕТАЛЯХ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для определения пористости в полимерных композиционных материалах (ПКМ) с помощью ультразвуковых неразрушающих методов применяют различные информативные параметры: затухание ультразвука [1], скорость ультразвуковых волн, характеристики шумов обратного рассеяния [2] и др. В настоящей работе для определения пористости применялся такой информативный параметр, как амплитуда донного сигнала. Этот подход позволяет проводить оценку пористости одновременно со штатным ультразвуковым контролем, не увеличивая таким образом суммарное время контроля.

Методом автоклавного формования изготовлены панели с квазиизотропной укладкой толщинами 5,5 мм (42 слоя) и 8,5 мм (64 слоя); методом инфузионного формования изготовлены панели с укладкой [0; 90] толщинами 3 мм (22 слоя) и 5,3 мм (42 слоя). Все изготовленные панели исследованы ультразвуковым эхоимпульсным методом, двумя типами преобразователей с центральными частотами: 2,25 МГц и 5,0 МГц. Из зон панелей с наиболее широким диапазоном падения амплитуды донного сигнала вырезаны образцы размерами 20x15 мм для проведения определения значения объемной доли пористости с помощью оптической микроскопии.

В результате исследований микрошлифов в образцах определена объемная доля пор, их размеры и форма. На основе полученных данных построены зависимости пористости от падения амплитуды донного сигнала, рассчитаны уравнения связи между величиной объемной доли пор и амплитудой донных эхо-сигналов и разработаны технологии неразрушающего ультразвукового контроля пористости деталей и агрегатов крыла самолёта, изготавливаемых из ПКМ.

Литература

1. **D.E.W. Stone, B. Clarke.** Ultrasonic attenuation as a measure of void content in carbon-fibre reinforced plastics // *Non-Destructive Testing*, Volume 8, Issue 3, June 1975, Pages 137–145.
2. **Мурашов В.В.** Контроль и диагностика многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов акустическими методами: монография. М.: ИД «Спектр», 2016. 244 с.

Н.В. Осияненко, соиск.;
рук. Е.И. Косарина, д.т.н., проф.
(НИЦ «Курчатовский институт «ВИАМ», Москва)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что процесс получения алюминиевых литейных сплавов сопровождается образованием в них пористости, представляющей собой распределенное по всему объему отливки чередование пор и металла [1]. По результатам металлографического анализа регламентированы 5 баллов пористости, где с ростом балла пористости её интенсивность возрастает.

По шлифу можно совершенно точно указать на балл пористости. Оценка его методом рентгеновской компьютерной томографии (РКТ), потребовала проведение исследований. В томографии можно видеть изображение слоя, толщина которого равна пикселю (вокселю) и составляет 200 мкм или менее [2].

В результате проведенных исследований установлено, что томографические изображения любого сечения эталонных образцов имеют одинаковые высокую четкость и высокий контраст независимо от толщины образца и балла пористости, поэтому в них отсутствует информативный признак.

Разбраковка пористости по баллам может быть установлена при наличии данных об объемной доле пористости. Установлено, что объемная доля пор в объеме отливки, рассчитанная по регламенту ГОСТ1583–93, и экспериментально полученная методом РКТ, совпадают.

Литература

1. Левчук В.В., Трапезников А.В., Пентюхин С.И., Леонов А.А. Способы литья тонкостенной детали из алюминиевого сплава типа силумин (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2018. № 6.
2. Демидов А.А., Крупнина О.А., Михайлова Н.А., Косарина Е.И. Рентгенотомографическое исследование объемной доли пор в образцах из ПКМ. Сканирование и реконструкция томографических данных // Дефектоскопия. 2021. № 9.

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 20

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Information security

Председатель секции: д. т. н., профессор Минзов Анатолий Степанович

Секретарь секции: Агуреев Иван Александрович

А.А. Гаврилов, студ.; рук. А.С. Минзов, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КИБЕРПОЛИГОНА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АНАЛИТИКОВ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В настоящее время большую угрозу для безопасности нашей страны представляют атаки на системы управления. Одной из мер противодействия подобным атакам является организация центров обработки данных Security Operations Center (SOC). Такие центры позволяют обеспечить выявление инцидентов и реагирование на них, противодействие умышленным угрозам, направленным на системы управления. Трудовые функции, которые относятся к обнаружению и нейтрализации вторжений, включены в перечень умений специалиста по безопасности компьютерных систем и сетей в реестре профессиональных стандартов Министерства труда [1], кроме того, содержатся в образовательных программах НИУ «МЭИ», связанных с безопасностью компьютерных систем (бакалавриат) и управлением информационной безопасностью (магистратура) [2].

Целями настоящей работы являются анализ применения комплекса «Киберполигон» для обучения студентов и слушателей методам и технологиям работы аналитиков SOC, разработка методической базы для использования комплекса «Киберполигон» в рамках дисциплин на уровне бакалавриата и магистратуры, реализация образовательных задач, определённых в профессиональных стандартах Министерства труда и образовательных программах НИУ «МЭИ».

Для достижения поставленных целей выполняются следующие задачи: реализация применения комплекса «Киберполигон» в рамках дисциплины «Защита информации в киберфизических системах» (профиль бакалавриата «Безопасность компьютерных систем»), анализ возможности включения в образовательный процесс тренировок на комплексе «Киберполигон», связанных с командой атакующих «Red Team».

Планируемым результатом работы является дальнейшая интеграция комплекса «Киберполигон» на уровнях бакалавриата и магистратуры.

Литература

1. Реестр профессиональных стандартов Министерства труда. Специалист по безопасности компьютерных систем и сетей [Электронный ресурс]. — URL: https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=116944 (дата обращения: 7.10.24).
2. Основные образовательные программы НИУ «МЭИ» [Электронный ресурс]. — URL: <https://mpei.ru/Education/educationalprograms/Pages/default.aspx> (дата обращения: 7.10.24).

*Н.Р. Погодин, студент;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ДОВЕРЕННОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВ

Одной из ключевых задач, стоящих перед информационными системами электронных торговых площадок (ИС ЭТП), является обеспечение доверенной среды, в которой участники электронных торгов могут быть уверены в надежном и отказоустойчивом процессе передачи информации. Доверенная среда должна обеспечить целостность, конфиденциальность и доступность данных на всех этапах взаимодействия участников торгов, начиная с подачи заявки и заканчивая завершением сделки.

Целью работ по созданию доверенной среды является разработка организационных и технических мер защиты информации в ИС ЭТП, направленных на блокирование (нейтрализацию) угроз безопасности информации. Типовая ИС ЭТП представляет собой распределенную систему, предоставляющую услуги, оказываемые и доступные из сети общего доступа Интернет. В процессе обработки защищаемой информации, ИС ЭТП взаимодействует с удаленными пользователями. Документы и сведения, могут направляться и размещаться в ИС ЭТП в форме электронных документов. ИС ЭТП имеет открытую часть, не содержащую защищаемую информацию и закрытую часть (конфиденциальная информация, личные кабинеты участников). Таким образом можно выделить угрозы несанкционированного доступа к ресурсам узлов системы как изнутри, так и из сети Интернет, искажения, подмены и уничтожения информации при её передаче, проблемы отказоустойчивости [1].

С учётом информационной инфраструктуры, создание доверенной среды может включать следующие этапы: анализ процессов и размещения информации, которая обрабатывается в системе, а также документации, на основе которой функционирует ИС ЭТП; организация защиты передачи информации по каналам связи (внедрение сертифицированных средств межсетевое экранирования и шифрования); обеспечение управления доступом (использование сертифицированных ОС или сертифицированных программных комплексов, разработка организационных мер); обеспечение целостности и конфиденциальности (использование электронной подписи); обеспечение антивирусной защиты и обнаружения вторжений (сертифицированные средства); обеспечения доступности и отказоустойчивости (подсистемы резервирования информации и резервные контуры ИС ЭТП).

Литература

1. **Тищенко Е.Н., Дервяшко В.В.** Основные аспекты безопасности и современные средства защиты электронных торговых площадок и интернет-магазинов // Вестник РГЭУ РИНХ. 2012. № 38. URL: <https://clck.ru/3EfZWx> (дата обращения: 11.11.2024).

А.Р. Замилов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Одним из требований для обеспечения защиты объектов критической информационной инфраструктуры (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].

Выполнение это процесса вручную требует значительных временных и человеческих ресурсов, что может замедлить реакцию на новые угрозы и привести к потенциальным уязвимостям в системах безопасности. Учитывая рост объема требований к информационной безопасности и сложность аналитической работы, возникает необходимость автоматизации этого процесса.

Существующие методы контроля состояния безопасности значимых объектов КИИ, разработанные как ФСТЭК, так и коммерческими организациями, не охватывают все требования, предъявляемые к отраслевым структурам субъектов КИИ. Например, в области энергетики действуют строгие регуляторные нормы, касающиеся требований к резервированию данных и мониторингу сетевого трафика, в то время как в области здравоохранения акцент делается на конфиденциальности персональных данных пациентов. Так образом, необходим подход, способный учитывать специфику и особенности каждой отрасли для более эффективного контроля состояния безопасности объектов КИИ.

Целью настоящей работы является разработка методика автоматизированного контроля состояния безопасности объектов КИИ в виде специального программного обеспечения (СПО). Данная методика позволит объединить технический анализ с использованием сканеров безопасности и оценку организационных мер защиты на основе результатов аудита. Конечным продуктом СПО станет акт внутреннего контроля с детальными результатами анализа, выявленными недостатками и рекомендациями по их устранению, что позволит повысить эффективность и оперативность контроля безопасности объектов КИИ.

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.

Д.С. Крысин, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛИТИК БЕЗОПАСНОСТИ В DLP-СИСТЕМАХ

В современном цифровом мире, характеризующемся ростом угроз, данные становятся ключевым активом организации, требующим надежной защиты от их попадания к посторонним. Обеспечение конфиденциальности данных является очень важной задачей, решение которой требует комплексного подхода.

Системы предотвращения утечек данных (Data Leak Protection, DLP) стали неотъемлемым компонентом информационной безопасности, позволяя организациям контролировать и блокировать несанкционированную передачу конфиденциальной информации. Это позволяет избежать последствий от утечек и обнаружить их источник.

Однако эффективность DLP-систем напрямую зависит от качества и точности настройки политик безопасности (набор правил, определяющих типы передаваемых данных, каналы передачи, и реакцию системы). Разработка таких политик — сложная и многогранная задача, требующая глубокого понимания как технических аспектов работы DLP-систем, так и специфики бизнес-процессов организации.

Сложности возникают в связи с необходимостью учета множества взаимосвязанных факторов организации: законодательные и регуляторные требования, стратегия организации, модель угроз, типы обрабатываемых данных и особенности работы пользователей [1].

Неэффективные политики могут привести к росту ложных срабатываний, перегружающих службу безопасности, и, как следствие, к пропуску реальных утечек данных, наносящих ущерб репутации и финансам организации.

Целью данной работы является разработка методики построения эффективных политик безопасности для DLP-систем, учитывающей специфику организации и обеспечивающей максимальный уровень защиты данных.

Результатом работы станет методика разработки политик безопасности в DLP-системах, которая будет включать в себя: классификацию факторов, влияющих на эффективность политик, рекомендации по анализу организационной среды, алгоритм разработки и настройки политик, набор метрик и методов оценки эффективности разработанных политик, примеры практического применения методики.

Литература

1. **DLP от базовых настроек до продвинутой аналитики.** Гарда [Электронный ресурс]. — URL: <https://garda.ai/blog/news/dlp-ot-bazovykh-nastroek-do-prodvinoitoy-analitiki> (дата обращения: 12.11.24).

А.Р. Омаров, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗ КОММЕРЧЕСКОЙ ТАЙНЫ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В условиях эволюции информационного общества и развития технологий, связанных с компьютерной техникой и активной конкуренцией на рынке, информация играет ключевую роль во всех сферах жизнедеятельности. Коммерческая тайна представляет собой режим конфиденциальности информации, позволяющий владельцу этой информацией при имеющихся или возможных обстоятельствах увеличить свой доход, сохранить положение на рынке товаров или получить иную коммерческую выгоду [1]. Разглашение таких сведений ставит под угрозу возможности реализации поставленных целей и задач, наиболее ценная часть информации нуждается в особой защите, которую должны предоставить субъекты, владеющие этой информацией, чтобы обезопасить себя. Успех производственной и предпринимательской деятельности зависит от умения распоряжаться такой информацией и как выгодно использовать её на рынке.

Однако при этом возникают задачи по моделированию сценариев реализации угроз коммерческой тайны. Отсюда целью работы является моделирование сценариев реализации угроз коммерческой тайны в информационных системах. Для моделирования сценариев реализации угроз необходимо знать, на какие активы нацелены угрозы, возможный перечень нарушителей и уязвимостей безопасности информации.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет создать модель угроз, конкретизировать, какая информация является коммерческой тайной и разработать меры по защите коммерческой тайны при её передаче.

Планируемым результатом исследования является создание модели угроз, получение подробного перечня информации, относящейся к коммерческой тайне и разработанные меры по защите коммерческой тайне при её передаче. Модель угроз будет содержать в себе перечень активов, на которые нацелены угрозы, информацию о всех нарушителях безопасности информации, угрозах и уязвимостях. Меры по защите коммерческой тайне при её передаче будут направлены на сохранность конфиденциальности таких сведений [2].

Литература

1. **Федеральный закон** «О коммерческой тайне» от 29 июля 2004 г. N 98-ФЗ. (ред. от 14.07.2022 № 311-ФЗ).
2. **Козырев П.А.** Концептуальная модель ИБ сетевого предприятия // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. — 2022. — С. 172.

Д.С. Годовицина, студ.; рук. А.С. Минзов, проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 2024 ГОДА ПРИ СОЗДАНИИ И УПРАВЛЕНИИ СМИБ

Современная концепция защиты информационных активов организации определяется нормативно-правовыми документами ФСТЭК, ФСБ и других регуляторов. Однако большая часть информации защищается на основе серии международных стандартов ISO/IEC 27000. В соответствии с ними, все процессы обеспечения ИБ реализуются с учетом результатов проведения оценки рисков. Эта особенность и отличает серию стандартов ISO/IEC 27000 от документов ФСТЭК. Модели оценки риска являются более привлекательными и предпочтительными для бизнеса, так как они позволяют заранее оценивать эффекты от внедряемых мер защиты информации, создавать неизбыточные системы защиты и, в некоторых случаях, находить наиболее рациональные решения. Основным документом по оценке риска ИБ в Российской Федерации, на данный момент, является ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010.

Используемый в настоящее время стандарт был адаптирован в 2010 году и имеет ряд недостатков. Во-первых, методики обработки рисков, определяющие действия над ними, носят общий характер и требуют частного подхода. Во-вторых, схемы обработки рисков основываются на индивидуальном подходе к их определению, что приводит к неоднократному возвращению на начальные этапы процесса их обработки. Рассмотренные недостатки не дают возможность автоматизировать процесс менеджмента риска.

За короткое время стандарт ISO/IEC 27005 претерпел множество изменений, его последняя версия, заменившая ISO/IEC 27005:2018, была опубликована в 2022 году и привела его содержание в соответствие со стандартами ISO/IEC 27001:2022 и ISO 31000:2018. В ней также нашли отражение усовершенствованные подходы к процессу управления рисками ИБ и к принятию остаточного риска. Кроме того, были введены новые понятия и критерии, исключены описания некоторых процессов, дополнены методы анализа рисков, описана концепция мониторинга и два подхода к выявлению рисков: событийный подход и подход, основанный на активах [1].

Появление за границей новой версии стандарта ISO/IEC 27005 в 2022 году и начало работы над проектом ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 2024 года создает надежду на устранение перечисленных выше недостатков. В связи с этим целью работы является проведение анализа отечественных и зарубежных нормативно-методических документов по оценке рисков, разработка предложений по усовершенствованию технологии оценки рисков ИБ в условиях неопределенности.

Планируемым результатом исследования является перечень обоснованных предложений по совершенствованию методических документов регуляторов, включающий предложение метрик для параметров оценки риска ИБ, которые позволят автоматизировать процесс его обработки, а также предоставят возможность определять методики оценки риска на основе абсолютных показателей.

Литература

1. **ISO/IEC 27005:2022: Main Changes and Implications** [Электронный ресурс]. — URL: <https://pecb.com/article/isoiec-270052022-main-changes-and-implications> (дата обращения: 14.10.2024).

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

Нормативно-методические документы ФСТЭК России, относящиеся к защите информации ограниченного распространения от утечки по техническим каналам, базируются на энергетическом критерии, а возможность создания скрытых технических каналов, в частности акустических, за счёт дополнительного программного воздействия на штатные алгоритмы обработки информации не рассматривается.

Одним из вариантов реализации такого канала является использование эффекта «поющих» конденсаторов в блоках питания компьютерных систем [1]. Поскольку современные процессоры энергоэффективны, кратковременная нагрузка центрального процессора напрямую влияет на динамические изменения его энергопотребления и, как следствие, на колебания напряжения в цепях питания. Это позволяет модулировать частоту акустических колебаний, создаваемых конденсаторами. В свою очередь, модуляция частоты акустических колебаний, порождаемых «поющими» конденсаторами, может быть использована для кодирования цифровых данных и создания скрытого акустического канала.

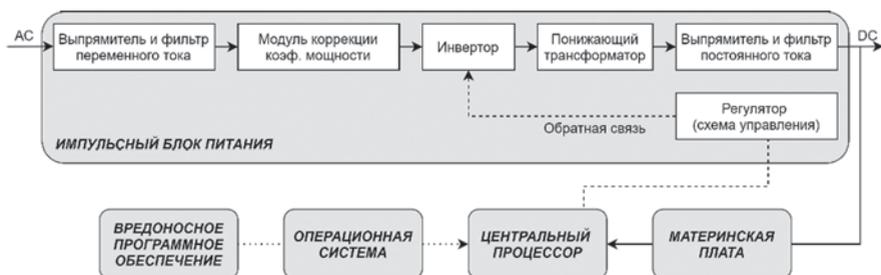


Рис. 1. Структурная схема реализации скрытого акустического канала

Целью работы является моделирование рассматриваемого канала передачи данных, исследование его характеристик и предложение методов и средств его обнаружения, в т.ч. разработка ПО, детектирующего потенциально подозрительные аудиосигналы на основе нейронной сети.

Результаты исследования могут быть использованы для оценки угроз, связанных с подобными каналами, принятия мер по их предупреждению, разработки средств обнаружения и защиты от утечки информации.

Литература

1. М. Guri «POWER-SUPPLaY: Leaking Sensitive Data From Air-Gapped, Audio-Gapped Systems by Turning the Power Supplies into Speakers».

*А.Э. Комаров, студент;
рук. С.В. Попов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ АТАК С ПОМОЩЬЮ SOC

APT — это группа злоумышленников с большими ресурсами, которая остается незамеченной в течение длительного периода времени после первоначальной компрометации компьютерного узла или сеть. [1]. Обнаружение тактик APT является более сложной задачей, чем при обнаружении обычных вторжений или вредоносного ПО. Классические методы обнаружения вторжений и вредоносного ПО являются недостаточными для защиты от APT-атак. Поскольку методы, основанные на сигнатурах, можно легко обмануть, некоторые методы APT даже не имеют характерных сигнатур, методы, основанные на обнаружении аномалий, могут страдать от высокого процента ложных срабатываний, а методы, основанные на правилах, требуют больших ручных усилий для поддержания правил в актуальном состоянии [2]. Для предотвращения реализации APT-атак требуется разработка методики выявления атак с использованием инструментов SOC. SOC решает задачи мониторинга и анализа событий в режиме реального времени, корреляции данных из различных источников, а также быстрого реагирования на инциденты.

Таким образом, целью работы является разработка методики по выявлению целевых APT атак, с использованием инструментов SOC. В рамках работы будут проанализированы сценарии атак и настроены правила корреляции событий, что позволит адаптировать SOC для эффективного обнаружения сложных угроз. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: исследовать типы APT-атак, их признаки, сценарии реализации и используемые злоумышленниками техники; рассмотреть инструменты SOC и их применимость для обнаружения атак; сформулировать этапы методики: мониторинг событий, корреляция данных, выявление аномалий и реагирование; настроить средства информационной безопасности в SOC; предложить меры по улучшению защиты инфраструктуры организации на основании созданной методики.

Литература

1. **Tatam M. et al.** A review of threat modelling approaches for APT-style attacks // Heliyon. — 2021. — Т. 7. — № 1. URL: file:///C:/Users/komar/Downloads/A_review_of_threat_modelling_approaches_for_APT-st.pdf
2. An Approach for Detection of Advanced Persistent. Threat Attacks. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=930774

А.А. Сазонов, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)

КЛАССИФИКАЦИИ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОВЕСНОЙ КРИПТОГРАФИИ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

Современное развитие информационных технологий привело к созданию новых передовых технологий Интернета вещей, позволяющих упростить и автоматизировать выполнение повседневных задач. Интернет вещей — концепция сети передачи данных между специализированными устройствами («вещами») и внешней средой, получившая распространение во многих сферах жизни людей. Возникает необходимость определения баланса между затрачиваемыми ресурсами и обеспечением достаточного уровня защищенности. Для решения данной задачи применяются алгоритмы легковесной, или «низкоресурсной» криптографии.

В зависимости от назначения устройства устанавливаются требования, определяющие баланс между безопасностью, эффективностью и итоговой стоимостью. Применение аппаратной реализации алгоритмов шифрования увеличивает количество условных логических элементов и энергопотребление устройства, но обеспечивает наибольшую скорость шифрования. Программные реализации обладают меньшим энергопотреблением, но скорость шифрования зависит от тактовой частоты вычислительного процессора. Применение программных реализаций алгоритмов наиболее выгодно, однако для многих устройств скорость шифрования и передачи данных является важным фактором.

Целью работы является создание программных моделей алгоритмов легковесной криптографии и исследование эффективности распараллеливания процессов для повышения быстродействия.

Таким образом, в процессе исследования необходимо разработать программные модели алгоритмов легковесной криптографии, использующие параллельные вычисления, оценить изменения эффективности и объема затрачиваемых ресурсов и определить рациональность применения распараллеленных алгоритмов.

Планируемым результатом исследования является программные модели алгоритмов легковесной криптографии с применением параллельных вычислений и определение наиболее эффективных реализаций алгоритмов по соотношению скорости шифрования и объему затрачиваемых ресурсов.

Литература

1. **Жуков А.Е.** Легковесная криптография. Часть 1 // Вопросы кибербезопасности. — 2015. — № 1 (9). — С. 26–43.
2. **Поляков А.С., Самсонов В.Е.** Оценка эффективности распараллеливания криптоалгоритмов // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. — 2017. — № 1 (103). — С. 77–81.

В.К. Селюков, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АУДИТ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К МЕТОДАМ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Современные кибератаки все чаще нацелены на человеческий фактор, поскольку даже самую надежную техническую защиту можно обойти с помощью манипуляций и психологического давления на сотрудников. Методы социальной инженерии позволяют злоумышленникам получать доступ к критически важной информации и ресурсам компании, не прибегая к взлому систем.

Основной задачей аудита является проведение тестов на уязвимость сотрудников к фишинговым атакам. Для этого разрабатываются сценарии, моделирующие различные виды фишинга, включая почтовый фишинг, целевой фишинг (Spear Phishing), Whaling (CEO fraud), вишинг (Vishing) и смишинг (Smishing). Информация о техниках доступна в базе знаний Mitre ATT&CK в разделе Phishing. Стоит отметить, что у «Кода Безопасности» есть русифицированная версия с примерами обнаружения таких атак с помощью их же продуктов (<https://mitre.securitycode.ru/techniques/T1566>).

Проверка осведомленности сотрудников о процедурах защиты информации проводится через опросы и интервью, направленные на оценку понимания внутренних политик безопасности и процедур. Это позволяет выявить слабые места в обучении и осведомленности персонала, которые могут быть использованы злоумышленниками для успешных атак.

Для реализации аудита разрабатываются специальные методики, включающие сценарии моделирования фишинговых атак. Использование реалистичных сценариев позволяет оценить, как сотрудники реагируют на различные виды атак. Также применяются инструменты для имитации атак, включая программные решения для отправки фишинговых писем, звонков (вишинг) и сообщений (смишинг) в контролируемых условиях. После проведения тестов собирается информация о количестве успешных попыток социальной инженерии и уровне взаимодействия с ложными объектами, например, открытие фишингового письма или переход по ссылке.

На основе анализа собранных данных разрабатываются меры противодействия. Они могут включать адаптированное обучение сотрудников и внедрение интерактивных тренингов, ориентированных на выявленные угрозы. Также совершенствуется корпоративная политика безопасности за счет разработки обновленных процедур реагирования на атаки и усиления организационной защиты.

Н.М. Патрина, студ.;
рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
рук. И.А. Агуреев, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ УЯЗВИМОСТЯМИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Управление уязвимостями в информационных системах является одним из важных этапов управления системой защиты. Своевременное выявление и устранение уязвимостей позволяет минимизировать риск кибератак и предотвратить последствия от эксплуатации уязвимостей.

Управление уязвимостями — это многоэтапный процесс, который требует не только технических знаний, но и стратегического подхода к организации безопасности.

Руководство по организации процесса управления уязвимостями в органе (организации) определяет основы состава и содержания работ по анализу и устранению уязвимостей, выявленных в программных, программно-аппаратных средствах информационных систем, информационно-телекоммуникационных сетей, автоматизированных систем управления, информационно-телекоммуникационных инфраструктурах центров обработки данных [1].

В соответствии с методическим документом ФСТЭК все уязвимости обязательно необходимо устранять в течении времени, установленного в данном документе, однако в нем отсутствует описание процесса управления скрытыми уязвимостями, которые не могут быть устранены, так как не были обнаружены, а также уязвимостями, которые возникли из-за обновления скомпрометированным ПО. Возможное прогнозирование атак на информационные системы с использованием неизвестных уязвимостей, может быть рассмотрено с учетом целей и мотивов этих атак. Это позволяет рассматривать в качестве векторов атак наиболее критичные и ценные информационные активы. Для этих активов может быть создана система быстрого восстановления в ограниченные сроки. Такой подход близок к концепции защиты информации на основе обеспечения непрерывности бизнес-процессов. Исходя из этого, целью работы является расширение методики по управлению уязвимостями с учетом невыявленных в процессе мониторинга уязвимостями.

Планируемым результатом исследования является разработанная методика управления скрытыми уязвимостями и уязвимостями, возникшими в результате обновления, которая будет включать методологию оценки активов по степени их критичности для обеспечения непрерывности бизнес-процессов с позиции кибербезопасности.

Литература

1. Методический документ. Руководство по организации процесса управления уязвимостями в органе (организации) (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 17 мая 2023 г.).

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

Согласно серии стандартов ИСО/МЭК 27000 риск информационной безопасности — потенциальная возможность того, что уязвимость будет использоваться для создания угрозы активу, приводящей к ущербу для организации. Агрегат рисков ИБ рассматривается как единый объект анализа различных рисков ИБ, имеющих общие черты.

Рассмотрим агрегат рисков ИБ $|T|:|V|:|A|$, где $|T|$ — мощность множества угроз, $|V|$ — мощность множества уязвимостей, $|A|$ — мощность множества активов. Мощность — количество элементов в множестве.

Сущность анализа заключается в следующем: поочередно один или несколько параметров (угроза, уязвимость или актив) выделяются приоритетными и рассматриваются, сколько других параметров соотносится с ним (ними) [1]. Например, выберем приоритетным параметр угрозы: если возникает ситуация, когда отношение параметров $1:m:m$, где $m \gg 3$, тогда необходимо принять решение об обработке этой угрозы. Это можно выразить следующим условием: $1:m:m \rightarrow S_T$, где S_T — способ обработки данной угрозы. Он подразумевает предотвращение угрозы организационными, техническими или криптографическими средствами. При этом чем больше m , тем более выгодно применение данной меры контроля и управления S_T .

Аналогичный анализ проводится и для других параметров. Риски, имеющие малую мощность (1:1:1), обрабатываются способом, при котором затраты на обработку минимальны.

Одним из ключевых преимуществ использования агрегатов рисков ИБ при управлении рисками ИБ является возможность определить и обосновать подход к их обработке. Агрегаты рисков ИБ также могут выявить: дублирование мер контроля, наличие критических угроз, затрагивающих многие активы, наличие серьезных уязвимостей, порождающих множество угроз.

Построение блока правил позволит создать программное обеспечение, автоматизирующее работу с матрицей рисков ИБ. Дополнительные возможности при этом даст разработка правил при увеличенном количестве параметров, характеризующих риск ИБ.

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.

О.В. Стешенко, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ OSINT ПРИ ПРОВЕДЕНИИ THREATS INTELLIGENCE (TI)

Threat Intelligence (TI) — это процесс сбора, анализа и использования данных об угрозах. TI применяется, чтобы помочь специалистам по безопасности распознавать индикаторы кибератак, извлекать информацию о методах атак и, следовательно, точно и своевременно реагировать на атаки [1]. Источниками информации для TI служат как открытые, так и закрытые каналы, включая публичные базы данных, хакерские форумы и Darkweb.

Open Source Intelligence (OSINT) представляет собой технологию сбора, анализа и распространения информации из открытых источников с целью удовлетворения конкретных потребностей или целей. Интеграция технологий OSINT в процессы TI значительно усиливает защиту организаций от киберугроз. Использование доступных данных позволяет решать задачи по сбору информации об угрозах, анализу поведения злоумышленников на основе реальных атак, проведению проактивного поиска угроз и адаптации стратегий защиты и реагирования на инциденты.

Целью работы является разработка методики выявления потенциальных угроз и сценариев их реализации в контексте применения OSINT при проведении TI.

Для решения данной цели планируется провести анализ существующих методов и технологий OSINT, используемых для проведения TI, разработать модель применения OSINT в TI, включающую этапы сбора, анализа и интерпретации информации и провести практическое исследование применения OSINT в TI на конкретных примерах реальных угроз.

Планируемым результатом исследования является анализ целей и задач TI, оценка возможностей OSINT для их реализации, описание лучших практик применения технологий OSINT в задачах TI.

В работе планируется решить противоречия отсутствия готовых решений по применению OSINT при проведении TI, сложности поиска решения при помощи стандартных методов, точности и достоверности информации, трудоемкости сбора информации из множества источников, а также необходимости интеграции с другими методами сбора разведывательных данных.

Основными направлениями работы будут являться определение потенциальных векторов атак, поиск слабых мест, выявление методов обхода защиты, которые могут использоваться злоумышленниками.

Литература

1. **Mauro Conti, Ali Dehghantanha, and Tooska Dargahi** Cyberthreat Intelligence: Challenges and Opportunities // Cyber Threat Intelligence. 2018.

М.А. Хмиль, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Конфиденциальность персональных данных (ПДн) — одно из важнейших требований безопасной обработки информации в информационных системах.

Главными проблемами, учитывая нынешнюю нормативно-правовую обстановку, являются — недостаточный контроль защищенности при обработке ПДн и некритичный масштаб последствий для владельцев информационных систем, в которых была допущена утечка ПДн субъектов. Штрафы ничтожны по сравнению с годовыми выручками компаний, которые чаще всего допускают объемные утечки, а уголовная ответственность за такого рода инциденты не предусмотрена в принципе. Анонимность ПДн субъектов прямо пропорционально влияет на количество мошеннических и других преступлений на территории государства, так как утекшие данные часто находятся в открытом доступе в даркнете и используются злоумышленниками в коростных побуждениях, что добавляет нагрузки на правоохранительные органы, задействованные в расследовании этих преступлений.

Отсюда цель работы — выявление актуальных проблем в методах оценки защищенности и контроле безопасности обработки, а также выработка компенсирующих мер, которые позволили бы нейтрализовать недостатки.

Для достижения поставленной цели будет необходимо решить задачи:

1. Проанализировать нормативно-правовую базу регулируемую обработку ПДн в информационных системах. Выявить недостатки в мерах контроля безопасной обработки, методах оценки защищенности, а также способах воздействий и взысканий за допущение инцидентов, повлекших утечку;
2. Выработать меры, которые в достаточной степени компенсировали бы выявленные недостатки, учитывая тенденцию развития атак с применением методов социальной инженерии, а также халатное отношение операторов ПДн к обеспечению безопасной обработки чувствительных данных;

Потенциальным результатом решения поставленных задач будет являться — разработанный перечень предложений по изменению нормативно-правовой базы регулиующей обработку ПДн, который позволил бы усовершенствовать механизмы контроля и ответственности.

Литература

1. Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р. «Безопасность персональных данных: новый взгляд на старую проблему» — 2022 г.

Н.С. Козлова, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИОМОНИТОРИНГА И ОБНАРУЖЕНИЯ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Применение методов и технологий машинного обучения (МиТМО) при проведении радиомониторинга и обнаружения технических каналов утечки информации (ТКУИ) является одним из перспективных направлений развития инженерно-технической защиты информации (ИТЗИ).

Выявление ТКУИ в упрощенном виде предполагает: 1) контроль загрузки диапазона; 2) обнаружение новых излучений; 3) идентификация радиосигналов и оценка их «опасности»; 4) определение местоположения источника радиоизлучений; 5) противодействие съему [1].

В работе предлагается автоматизировать процесс идентификации и классификации новых сигналов с помощью МиТМО, т.е. перейти от разовых инструментальных проверок к постоянному мониторингу защищаемого помещения (ЗП). На рис. 1 приведена функциональная модель организации постоянного мониторинга в ЗП.

Таким образом, для реализации данной модели (рис.1) необходимо разработать и обучить нейронную сеть распознавать радиосигналы от «своих» и «чужих» устройств, а также при обнаружение опасных сигналов сигнализировать об этом оператору.

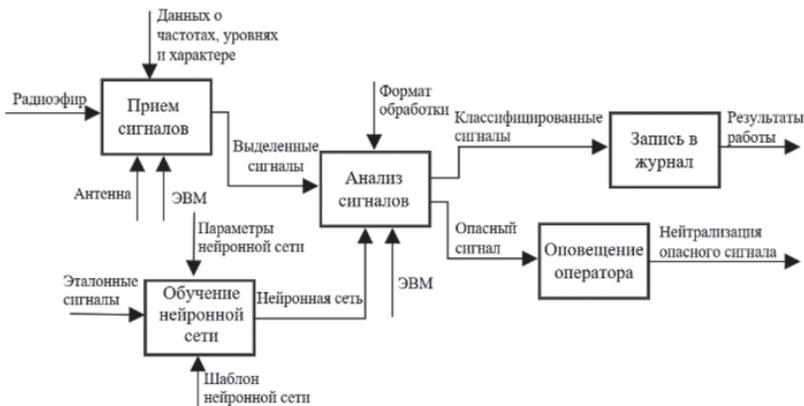


Рис. 1. Модель организации постоянного мониторинга в ЗП

Планируемым результатом дальнейшей работы является организация постоянного мониторинга защищаемого помещения с помощью МиТМО.

Литература

1. Рембовский А.М. «Выявление технических каналов утечки информации: методы, структура и характеристики средств» [Электронный ресурс] — URL: <https://vestnikprib.bmstu.ru/articles/389/html/files/assets/basic-html/page1.html> (дата обращения: 11.11.24).

*С.А. Юсупова, студент;
рук. А.С. Минзов. д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИНФРАСТРУКТУР

Модель рисков (R) восстановления системы критической информационной инфраструктуры (КИИ) и её информационной безопасности может быть представлена в виде упорядоченного набора параметров:

$$t_i, a_i^k, r_i, \Delta\tau_i, \{c_{ij}\}, z_i$$

где t_i — угроза, приводящая к инциденту информационной безопасности для КИИ и прерыванию его деятельности; a_i^k — критичный информационный актив и его ценность в принятой системе метрик, нарушение деятельности актива может привести к негативным последствиям для КИИ после инцидента информационной безопасности; r_i — величина предотвращенного ущерба в принятой системе метрик при восстановлении системы управления КИИ; $\{c_{ij}\}$ — меры по восстановлению непрерывности (количество мер (j) может быть несколько для i-го риска); z_i — общие затраты на обработку i-го риска (затраты могут включать в себя расходы на приобретение оборудования, программного обеспечения, обучение персонала и т. д.) [1].

Преимущества модели:

- Позволяет оценить риски, связанные с восстановлением системы КИИ, и разработать эффективные меры по их снижению.
- Учитывает различные аспекты информационной безопасности, такие как угрозы, активы, ущерб, время восстановления и затраты.
- Может быть адаптирована под конкретные потребности и условия организации. Улучшение модели может включать в себя следующие аспекты:
- Расширение набора параметров. Модель может быть дополнена новыми параметрами, которые учитывают специфику конкретной организации или отрасли. Например, можно добавить параметры, отражающие уровень подготовки персонала, наличие резервных систем и т. д.
- Для оценки параметров модели можно использовать более точные методы, основанные на статистических данных, экспертных оценках и т. п.

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.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 всегда способны своевременно обнаружить действия злоумышленника в сети. Для этого необходимо составить полную картину его перемещения, определить этапы его передвижения в организации или построить «цепочку атаки» Kill Chain.

Kill Chain выстраивается следующим образом: при расследовании специалист ИБ, исходя из данных, которые ему известны об атаке, строит цепочку в обратном порядке с целью найти точку проникновения злоумышленника в сеть организации, а затем анализирует ее. Этот процесс занимает большое количество временных ресурсов.

С помощью вендорских правил системы NTA и машинного обучения можно автоматически выстраивать такие цепочки, основываясь на артефактах, например, на IP-адресе пользователя, который внутри сети использует злоумышленник при попытке получить управление системой. Это поможет специалисту по ИБ обнаружить злоумышленника раньше, чем злоумышленник получит управление и достигнет своей цели.

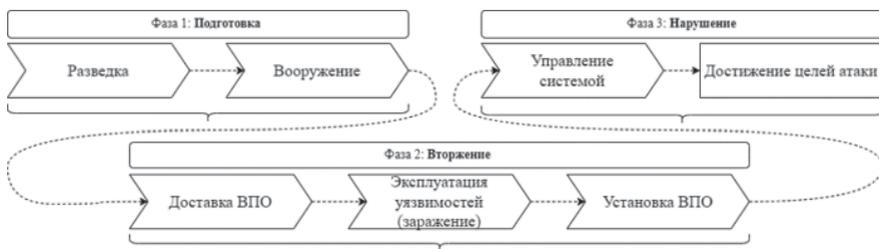


Рис. 1. Цепочка атаки Kill Chain

Целью данной работы является разработка методов и технологии реагирования на инциденты информационной безопасности с использованием технологий класса NTA.

Планируемые результаты работы позволят службам ИБ снизить временные затраты на реагирование и разбор инцидентов ИБ, а также повысить безопасность как на периметре, так и внутри организации.

Литература

1. **Positive Technologies Network Attack Discovery.** Руководство администратора [Электронный документ], (<https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/products/nad/administrators-guide.pdf>, дата обращения: 15.11.2024).

*П.А. Радзиевский, студент;
рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ДОВЕРИЯ К БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА ОЦЕНКИ ПО ОУД-4

Применение различных ИТ-продуктов, средств обработки и защиты информации, соответствующих определенным требованиям безопасности, является важным аспектом защиты информации. На данный момент выделяют следующие варианты подтверждения соответствия продукта требованиям безопасности информации: применение принципов безопасной разработки, проведение оценки доверия по методике, определенной нормативными документами ФСТЭК России (сертификация) [1], либо применение концепции «архитектуры нулевого доверия» (Zero Trust Architecture).

При проведении оценки доверия по ОУД-4 на основе приказа ФСТЭК России № 76 необходимо выполнить ряд мероприятий, включающих проектирование архитектуры безопасности системы (средства), разработку документации, разработку модели угроз и проведение формальной (математической) системы доказательства о том, что существующая система не содержит уязвимостей для решения задач с конфиденциальной информацией. При этом в Приказе ФСТЭК № 76 не поясняется, как проводить такое доказательство. Примерами инструментов, которые применяются для формальной верификации являются специализированные языки CPN Tools (теория сетей Петри), AstraVer Toolset, Coq (теория исчисления конструкций) и наиболее известный язык Event-B, который использовался для описания модели безопасности Astra Linux Special Edition [2]. Но при этом ни один из языков не сертифицирован ФСТЭК России и не создает достаточную убедительную систему доказательств доверия. Отсюда целью работы является представление методического обеспечения оценки уровня доверия к безопасности объекта оценки по ОУД-4. В работе будет проведен анализ принципов оценки доверия по ОУД-4 в соответствии с приказом ФСТЭК № 76, будут рассмотрены различные методики обеспечения оценки и будет проведено моделирование по их возможностям.

Литература

1. Требования по безопасности информации, устанавливающие уровни доверия к средствам технической защиты информации и средствам обеспечения безопасности информационных технологий (выписка) (утв. приказом ФСТЭК России от 2 июня 2020 г. № 76);
2. **Хорошилов А.В., Щепетков И.В.** Adv_spm — формальные модели политики безопасности на практике URL: <https://clck.ru/3EzriN>

С.Г. Яцков, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Интеграция технологий обеспечения безопасной разработки программного обеспечения и автоматизации процессов CI/CD приобретает особую актуальность с учетом растущего перехода организаций к web-ориентированной архитектуре и внедрения практик DevSecOps. По данным исследований, более 80% компаний уже используют web-приложения для критически важных бизнес-процессов, что делает их уязвимыми для кибератак, включая угрозы на цепочки поставок (supply chain), такие как атака на SolarWinds [1]. Проект ГОСТ Р 56939-2024 направлен на комплексное обеспечение безопасности на всех стадиях разработки и внедрения ПО, рекомендуя методы и технологии, способные предотвратить уязвимости на ранних этапах жизненного цикла. Угрозы цепочки поставок, подобные атаке на SolarWinds, подтверждают важность интеграции практик безопасности на каждом этапе разработки.

Целью исследования является изучение эффективности методов и технологий обеспечения безопасности ПО, интегрируемых в процессы CI/CD в соответствии с проектом ГОСТ Р 56939-2024, для минимизации рисков, связанных с киберугрозами и эксплуатацией уязвимостей. Для реализации данной цели необходимо проанализировать актуальные угрозы безопасности в цепочках поставок ПО, выделить основные положения ГОСТ Р 56939-2024 и их связь с практиками DevSecOps, исследовать роль инструментов Static Application Security Testing (SAST), Dynamic Application Security Testing (DAST) и Software Composition Analysis (SCA) в защите программных систем, определить ключевые факторы риска и разработать рекомендации по применению ГОСТа в условиях организаций, использующих web-ориентированную архитектуру.

Предполагается, что результаты исследования включают разработку модели интеграции методов безопасности в CI/CD на основе ГОСТ Р 56939-2024, что позволит автоматизировать обеспечение безопасности, минимизировать операционные затраты и повысить устойчивость программных систем. Интеграция таких методов, как SAST, DAST и SCA, обеспечит выявление уязвимостей на ранних этапах, снизит вероятность человеческих ошибок и повысит защиту критически важных web-приложений.

Литература

1. **Duvall, P.M., Matyas, S., Glover, A.** Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk [Text] / P.M. Duvall, S. Matyas, A. Glover // Addison-Wesley. — 2007. — 240 p.

*Н.Ю. Бобров, студент;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИК ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ДОСТУПА В СИСТЕМУ НА ОСНОВЕ MITRE ATT&СК И СПОСОБЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИМ

Первоначальный доступ является важнейшим и наиболее критическим этапом при проникновении в систему. Именно на этом этапе злоумышленники получают первую точку входа, которая открывает им возможности для дальнейших действий внутри компьютерной сети организации. Все нарушители неизбежно сталкиваются с задачей первоначального проникновения в эту самую сеть для получения доступа к интересующим их ресурсам, делая этот этап фундаментальным в процессе атаки. Учитывая растущую сложность методов атаки и разнообразие техник, исследование практического применения этих техник и разработка эффективных способов противодействия им является крайне актуальной задачей для обеспечения надежной защиты информационных систем.

Исследование направлено на практический анализ техник первоначального доступа из группы TA0001 фреймворка MITRE ATT&СК. Проблема заключается в недостатке практико-ориентированных методик, позволяющих специалистам эффективно выявлять и предотвращать данные техники в реальных условиях. Путем воспроизведения этих техник в контролируемой среде и анализа их особенностей, работа стремится заполнить данный пробел.

Целью данной работы является разработка практических рекомендаций и стратегий противодействия техникам первоначального доступа, основанных на глубоком понимании их механизма и практическом опыте их применения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать техники первоначального доступа, представленные в MITRE ATT&СК.
2. Реализовать выбранные техники на практике с использованием виртуальных машин.
3. Проанализировать эффективность существующих методов защиты против данных техник.
4. Разработать рекомендации по улучшению методов обнаружения и предотвращения атак, направленных на первоначальный доступ.

Результатом работы будут методы обнаружения и мониторинга атак первоначального доступа.

Литература

1. **Peter Kim.** «The Hackers Playbook 3: Practical Guide To Penetration Testing» — 2018 г.

А.В. Сергеичев, студ.; рук. О.В. Стукач, д.т.н., доц. (НИУ «ВШЭ»)

ОЦЕНКА ЭНТРОПИИ ТРАФИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ

Технологии промышленного Интернета вещей (IIoT) внедряются в производственные процессы критически важных отраслей, давая возможность удалённого управления ими. В связи с этим увеличивается риск реализации недопустимых событий информационной безопасности, которые могут привести к серьёзным последствиям.

Сигнатурный и поведенческий анализ требует постоянного пополнения базы знаний об известных атаках. Но если угрозы носят уникальный целевой характер, то поиск и противостояние им становится очень сложной задачей. Кроме того, возникает немало трудностей при анализе зашифрованного трафика.

Целью работы является выявление аномалий и паттернов в сетевом трафике с помощью оценок энтропии, указывающих на потенциальные угрозы безопасности систем управления IIoT.

В качестве входных данных используется снимок сетевого трафика системы управления IIoT и реализованных в ней атак [1]. Методика выявления аномалий заключается в следующем.

Сетевой трафик отфильтровывается от служебной информации и оцифровывается путем частотного анализа содержимого каждого зарегистрированного пакета. На основе агрегированных по некоторому временному интервалу данных вычисляются сэмплы по принципу скользящего окна, смещающегося на определенный шаг. Каждый сэмпл представляет собой дивергенцию распределений. Если разница распределений близка к нулю, то, считается, что аномалий нет. Выбор таких параметров, как длина временного интервала агрегации, ширины скользящего окна и шага смещения влияет на чувствительность алгоритма к обнаружению аномалий.

Ожидается, что полученные состоятельные меры зависимости случайных процессов позволяют с большей вероятностью определять факт вторжений в системы IIoT, чем сигнатурный анализ.

Литература

1. **Erfan Ghiasvand**, «Resilience against APTs: A provenance-based dataset and attack detection framework», University of New Brunswick, 2024.

*О.М. Семенова, студ.; рук. А.Г. Уймин, ст. преп.
(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва)*

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ В ПЛЕЙБУКАХ ANSIBLE

Infrastructure as Code (далее — IaC) стала неотъемлемой частью современной DevOps-практики. Такой подход избавляет разработчиков и системных администраторов от необходимости вручную настраивать и обслуживать инфраструктуру.

В работе рассмотрен инструмент автоматизации Ansible, реализующий основные принципы IaC [1]. Ansible позволяет описать инфраструктуру в виде плейбуков — текстовых файлов, содержащих инструкции на языке YAML.

Согласно данным, представленным в базе данных угроз безопасности информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (далее — БДУ ФСТЭК) плейбуки Ansible подвержены ряду уязвимостей, которые могут привести к критическим нарушениям безопасности всей инфраструктуры [2].

Для обнаружения уязвимостей в плейбуках Ansible используются как статические, так и динамические инструменты анализа.

Важной задачей является интеграция инструментов анализа в CI/CD-пайплайны. Такое решение позволяет выявлять уязвимости на ранних этапах разработки [3]. В свою очередь, устранение проблем на этапе разработки обходится значительно дешевле, чем их устранение после развертывания инфраструктуры.

Стоит отметить, что инструменты анализа имеют ограничения в своих алгоритмах, которые приводят к пропуску ошибок и ложным срабатываниям. Статические анализаторы не учитывают контекст выполнения плейбука, а динамические анализаторы могут пропускать скрытые уязвимости. Практическая часть работы заключается в проведении тестирования различных инструментов анализа на примерах плейбуков Ansible.

Литература

1. Ansible community documentation — Текст: электронный. — URL: <https://docs.ansible.com/> (дата обращения: 21.11.2024).
2. Банк данных угроз безопасности информации — Текст: электронный. — URL: <https://bdu.fstec.ru/vul> (дата обращения: 22.11.2024).
3. **Уймин А.Г.** Разработка методики тестирования системы безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе корпоративного стандарта / А.Г. Уймин // Автоматизация и информатизация ТЭК. — 2024. — № 5(610). — С. 59–65. — EDN VSLWIA.

М.В. Михалевич, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И УТИЛИТ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

С учетом роста числа киберугроз и увеличения сложности информационных систем вопрос обеспечения безопасности и своевременного выявления уязвимостей приобретает особую значимость. Открытые технологии и утилиты для анализа безопасности, такие как OpenVAS, Nmap и OWASP ZAP, предоставляют широкие возможности для диагностики информационных систем [1]. Однако их применение требует создания среды, где пользователи смогут отрабатывать навыки исследования уязвимостей и изучать их влияние на безопасность систем.

Целью исследования является создание лабораторного стенда, который позволит обучать сотрудников навыкам анализа и выявления уязвимостей в информационных системах с использованием открытых технологий. Такой стенд создаст реалистичную среду для моделирования кибератак и проверки инструментов безопасности. Для реализации цели необходимо:

- Провести анализ современных угроз, включая атаки на уровне приложений, сети и инфраструктуры.
- Изучить возможности популярных утилит, таких как OpenVAS, Nmap и OWASP ZAP, с точки зрения точности, функциональности и удобства интеграции.
- Разработать прототип лабораторного стенда, включающий симуляцию сценариев атак и защитных мер.
- Создать методические рекомендации по использованию стенда для обучения и оценки навыков сотрудников.

Созданный стенд будет имитировать реальные сценарии, позволяя пользователям изучать методы выявления уязвимостей, оценивать эффективность открытых утилит и вырабатывать оптимальные стратегии защиты. Это решение обеспечит подготовку специалистов к работе с современными угрозами, минимизируя влияние человеческого фактора на безопасность информационных систем.

Предполагается, что результаты исследования включают прототип лабораторного стенда и рекомендации по его внедрению в учебные процессы организаций. Ожидается, что использование стенда позволит повысить качество обучения сотрудников, минимизировать риски, связанные с эксплуатацией уязвимостей, и улучшить общую устойчивость информационных систем к современным угрозам.

Литература

1. **Guide to Vulnerability Scanning Tools.** K. Scarfone, P. Mell // NIST Special Publication. — 2020.

*И.В. Бачурин, аспирант;
рук. С.В. Вишняков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БЕЗ УМЕНЬШЕНИЯ СКОРОСТИ ПУТЁМ ПЕРЕНОСА ШИФРОВАНИЯ НА ПЛИС

Необходимость внедрения беспроводного способа передачи данных в различные высокоскоростные системы обусловлена рядом факторов, таких как: невозможность использования проводных линий связи, скорость развёртывания беспроводных сетей и т. д. В случаях, когда к высокоскоростной системе предъявляются также требования по защите передаваемого трафика, использование существующих способов организации шифрования сетевого трафика в беспроводных сетях значительно увеличивает задержку в тракте передачи данных. Одним из стандартов беспроводной передачи данных с минимальной задержкой является усовершенствованный стандарт IEEE 802.11p, предназначенный для обмена данными между высокоскоростными транспортными средствами [1].

Предлагаемый нами способ повышения надёжности беспроводного канала без уменьшения скорости на базе стандарта IEEE 802.11p [2], развёрнутого на микроконтроллере Raspberry Pi 4 осуществляется путем переноса шифрования и части этапов обработки трафика на ПЛИС модели 5576XC1T типа FPGA.

Криптографическая защита трафика обеспечивается за счёт использования отечественного стандарта блочного шифрования ГОСТ Р 34.12 2015 «Кузнечик» с размером блока 128 бит [3].

Таким образом, при переносе этапа шифрования трафика на ПЛИС становится возможным повысить надёжность высокоскоростного канала передачи данных без уменьшения его пропускной способности.

Литература

1. **Heidi Kaartinen, Joni Jamsa**, Encryption and authentication of 802.11p traffic radio // Conference: 2016 International Symposium on Small-scale, June 2016, DOI: 10.1109/SIMS.2016.7802903
2. **Tiago M Fernández-Caramés, Miguel González-López, Carlos J Escudero & Luis Castedo**, Performance evaluation of multiple-antenna IEEE 802.11p transceivers using an FPGA-based MIMO vehicular channel emulator // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking volume 2012, Article number: 215 (2012).
3. **Чумакова, М.С.** Сравнение быстродействия алгоритмов, входящих в состав ГОСТ Р 34.12–2015 / М.С. Чумакова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 16 (358). — С. 21–22. — URL: <https://moluch.ru/archive/358/80031/> (дата обращения: 19.12.2024).

А.А. Власов, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ЦЕННОСТИ АКТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В последние годы технологии машинного обучения, особенно нейронные сети, значительно трансформируют подход к обеспечению информационной безопасности. Современные вызовы, связанные с увеличением киберугроз и объёмов обрабатываемых данных, требуют более сложного подхода к управлению информационными ресурсами. Эффективная классификация активов и надёжная оценка их стоимости становятся критически важными для минимизации рисков утечки информации и защиты ценных данных.

Целью данного исследования является формирование набора данных, который станет обучающей выборкой для точной и объективной оценки активов при помощи нейронных сетей. Генерация этого набора данных будет осуществляться с учетом множества факторов, включая, помимо ценности активов, уязвимости систем, частоту потенциальных угроз, а также внешний контекст, влияющий на безопасность [1]. Для этого будет проведён сбор и анализ данных из различных источников, таких как журналы событий безопасности, отчеты о киберугрозах и информация о существующих зарубежных баз данных.

Основная задача заключается в разработке модели на основе нейронных сетей в среде Logipom для автоматизированной классификации активов и прогнозирования их ценности в сфере информационной безопасности. Эта модель будет ориентирована на высокую скорость обработки больших объёмов данных и учёт множества факторов риска, что повысит качество и скорость принимаемых управленческих решений.

В процессе работы будет разработана архитектура нейронных сетей, таких как многослойные перцептроны и сверточные нейронные сети. Эти модели будут адаптированы для анализа данных о ценности активов и распределения по их 10 основным категориям: низкая ценность, умеренная ценность, средняя ценность, высокая ценность, повышенная ценность, критическая ценность, максимальная ценность. Также будут рассмотрены механизмы, позволяющие адаптировать нейронные сети к изменяющимся условиям, что повысит устойчивость системы к потенциальным внешним воздействиям.

Литература

1. **Парасич А.В., Парасич В.А., Парасич И.В.** Формирование обучающей выборки в задачах машинного обучения. Обзор // Информационно-управляющие системы. — 2021. — № 4 (113). — С. 61–70.

Д.Д. Яковенков, студ.;
рук. А.Ю. Невский, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ ДОВЕРИЯ К БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В условиях современного общества информационные системы и технологии требуют повышенного внимания к доверию со стороны общества и государственных регуляторов, поскольку доверие к ИС является сложным процессом, зависящим как от уровня компетенции оценщика, так и от уровня организационно-технической реализации технологий.

Само доверие рассматривают как основание для уверенности в том, что объект оценки отвечает конкретным функциональным требованиям безопасности, которые должны обеспечиваться методически, технологически, технически и обладать механизмом оценки.

Приказ ФСТЭК №76 методически построен и ориентирован на выполнение совокупности требований, обязательных для определенного уровня доверия. Вместе с тем, механизмы оценки уровня доверия для выполнения требований в данном документе отсутствуют, что говорит о его недостатках для целей оценки уровня доверия.

Например, для определения 6 и 5 оценочного уровня доверия, согласно [1], достаточно модели угроз ИБ. Для определения 4 уровня доверия необходима система доказательств доверия, регламентации которой в национальной практике пока не существует. Поэтому существует задача в более детальной проработке методов и механизма доказательств уровня доверия к безопасности ИТ.

Вместе с тем необходимость в проведении переоценки уровня доверия на протяжении всего жизненного цикла системы для подтверждения факта того, что система остаётся безопасной, остаётся достаточно частой задачей в виду динамичности систем, вызванной частыми изменениями в архитектуре или функционале систем и технологий.

Поэтому целью работы является анализ существующих методов доказательства доверия и разработка модели, которая должна представлять собой понятную методику, содержащую алгоритмы для решения задач оценки уровня доверия и которая бы охватывала все аспекты функционирования систем и соответствовала современным требованиям ИБ в части доверия к ним. Разработанная модель должна представлять данные алгоритмы в виде понятных диаграмм-процессов, таких как IDEF0, IDEF3 или DFD, и являться универсальной для различных ИС.

Литература

1. Приказ ФСТЭК России №76 от 02.06.2020 «Требования по безопасности информации, устанавливающие уровни доверия к средствам ТЗИ и средствам обеспечения безопасности информационных технологий».

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

РАССЛЕДОВАНИЕ ИНЦИДЕНТОВ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ГРАФОВ СОБЫТИЙ

Анализ существующих методов и инструментов для расследования инцидентов информационной безопасности показал, что графы событий предоставляют мощный инструмент для структурированного анализа, однако их использование требует комплексного подхода к обработке данных. Основные проблемы, такие как высокая доля нерелевантных событий, ложные срабатывания и недостаток аналитической точности, могут быть устранены за счёт оптимизации методов фильтрации и интерпретации данных.

На основании проведённого анализа выделены ключевые элементы эффективного подхода:

Использование расширенного набора параметров графа (время, тип события, взаимосвязи, идентификаторы участников, контекстные метрики).

Интеграция методов автоматического анализа данных, включая алгоритмы машинного обучения, для исключения ложных событий и обнаружения скрытых взаимосвязей.

Применение инструментов визуализации для упрощения работы аналитиков с большими объёмами данных.

Для повышения эффективности предложено адаптировать существующие инструменты под задачи конкретных корпоративных систем. Это включает разработку пользовательских метрик и сценариев анализа, позволяющих выявлять критические точки инцидента, такие как начальная точка атаки, маршруты перемещения угрозы и зоны риска.

Одним из перспективных направлений развития является использование технологий корреляции событий на основе больших данных. Сбор информации из множества источников, таких как журналы событий, сетевые сенсоры и системы мониторинга, позволяет создать более полное представление о ходе инцидента. Это способствует точному определению причинно-следственных связей и идентификации аномалий, которые могут быть упущены при использовании менее интегрированных подходов.

Важно учитывать возможность автоматизации решения. Использование систем, которые предназначены для сбора, хранения и анализа данных (SIEM) может существенно ускорить процесс расследования. Это позволит сократить время расследования и минимизировать ложное срабатывание.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности (Переиздание).

А.В. Романников, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА УСТОЙЧИВОСТИ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ К ТЕХНОЛОГИЯМ СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

В современном мире, где информационные технологии играют все более важную роль, обеспечение информационной безопасности является одним из ключевых приоритетов. Однако, несмотря на развитие технических средств защиты, человеческий фактор по-прежнему остается актуальными в сфере информационной безопасности [1], подвергаясь атакам с применением методов социальной инженерии.

Цель научной работы направлена на формирование рекомендации по устойчивости информационной системы к атакам с использованием методов социальной инженерии, направленных на негативное воздействие на корпоративную информационную систему.

Для достижения поставленной цели научной работы, сформированы основные задачи:

- исследовать методы социальной инженерии и информационные технологии реализации этих методов;
- произвести организацию проведение инструментального аудита в корпоративной информационной системе, направленный на использование методов социальной инженерии;
- осуществить инструментальный аудит в организации, направленный на использования методов социальной инженерии;
- произвести оценку устойчивости персонала к атакам с использованием технологий социальной инженерии;
- сформировать рекомендации по выявленным нарушениям, с использованием технологий COBIT 5.0;
- внедрить технологии совершенствования устойчивости на исследуемой информационной системе.

Ожидаемый результат научной работы заключается в формировании рекомендации по противодействию методам социальной инженерии направленных на негативное воздействие на корпоративную информационную систему.

Литература

1. **Щукин Г.А.** Концепция «человек — слабое звено» в информационной безопасности: проблемы и решения / Г.А. Щукин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 22 (521). — С. 42–46. — URL: <https://moluch.ru/archive/521/115012/> (дата обращения: 06.11.2024).

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) играют ключевую роль в современном мире, обеспечивая точное позиционирование и навигацию для множества приложений, включая гражданскую авиацию и автономные транспортные средства. Актуальность темы информационной безопасности ГНСС возрастает с каждым годом, так как на эти системы возлагаются все более высокие требования к надежности и безопасности.

Современные угрозы безопасности ГНСС включают в себя спуфинг и глушение сигналов (рис. 1). Среди таких угроз особое место занимают радиопомехи, которые могут быть естественного или искусственного происхождения, пассивного или активного типа, маскирующего или имитирующего характера [1]. Например, в 2020 году была зафиксирована атака на систему GPS, в ходе которой злоумышленники использовали уязвимости в программном обеспечении для получения несанкционированного доступа к данным о местоположении.

Для защиты информации в глобальных навигационных спутниковых системах предлагается использовать адаптивную антенную решётку, которая будет определять, является ли принимаемый сигнал помехой, отслеживая направление его сигнала и уровень мощности. Такой подход позволяет значительно повысить устойчивость систем к внешним воздействиям и улучшить качество навигационных услуг.

В заключение, информационная безопасность ГНСС требует комплексного подхода к защите данных и инфраструктуры с акцентом на понимание актуальных угроз и внедрение инновационных технологий для обеспечения надежности навигационных услуг в будущем. Это включает как технические решения, так и правовые меры, направленные на защиту критически важной инфраструктуры от потенциальных атак и злоупотреблений.



Рис. 1. Схема работы приёмника в условиях воздействия помехи

Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под. ред. Перова А.И. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.

Е.В. Кулагин, студ.; рук. О.Р. Баронов, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ВНЕДРЕНИЯ DLP-СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

В условиях цифровизации энергетических предприятий возрастает число информационных потоков и количество обрабатываемой чувствительной информации, что повышает риски атак на инфраструктуру и утечки информации [1]. Рассматриваются два подхода к атакам на автоматизированные системы — с точки зрения технической безопасности, направленные на нарушение работы SCADA систем, и с позиции утечки чувствительной информации через периметр информационной системы. Для нейтрализации атак второй группы используются DLP-системы, которые предназначены для контроля передачи и изменения информации внутри организации. Ключевой особенностью таких систем является необходимость низкоуровневой настройки под особенности организации, в частности под архитектуру информационной системы и обрабатываемую информацию. При этом документация на большинство DLP-систем определяет возможности, функции контроля по отдельности, не давая рекомендации по комплексной настройке.

Отсюда каждое внедрение DLP-систем сопровождается определением общих правил контроля безопасности, которые позволяют протестировать работоспособность системы, но едва ли позволяют решить задачи заказчика. Поэтому целью работы является создание методики внедрения DLP-системы на предприятии с учетом особенностей его функционирования. Разработка методики позволит определить и объединить функции контроля специфичные для предприятий в сфере энергетики и даст возможность показать заказчику, как DLP-система может предотвратить утечку в его организации.

Таким образом, в процессе разработки методики будет необходимо проанализировать варианты внедрения DLP-систем, возможности регистрации событий и особенности применения чувствительной информации на предприятиях в сфере энергетики.

Планируемым результатом работы является создание методики внедрения DLP-системы на предприятиях в сфере энергетики, которая будет включать рекомендации по подготовке систем, порядок определения режима работы DLP-системы и распространения агентов, базовые для энергетики словари и отпечатки, перечень правил политики безопасности и план их тестирования.

Литература

1. Аналитический отчет InfoWatch. Утечки информации в мире и России за первое полугодие 2024 года.

А.Н. Перельгин, студ.;
рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ ПОБОЧНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

Использование методов машинного обучения для обнаружения утечек информации через побочные технические каналы представляет собой актуальную задачу, направленную на выявление и предотвращение угроз, связанных с несанкционированным доступом к информации [1].

Целью исследования является разработка методики, основанной на методах машинного обучения, для обнаружения возможной утечки информации через ПЭМИ. Основной задачей является проверка гипотезы о возможности применения метода машинного обучения, на основе модели спектра с разной активностью по времени и дате, для выявления аномалий, которые могут быть сигналом о наличии закладного устройства.

Для регистрации сигналов предполагается использование комплекса «Сигурд» и антенны измеряющей 5.0. Первоначальным этапом будет сбор эталонных спектров излучений при различных условиях функционирования оборудования. За эталон, который будет использоваться в качестве модели для обучения, берётся спектр излучений на определенное время и дату, разделенные на интервалы частот. Сигналы будут подвергаться формализации, которая включает фильтрацию для удаления шумов и выделения значимых компонентов, перевод в цифровой вид. Эти данные будут формировать основу для создания базы данных, необходимой для обучения и тестирования моделей машинного обучения.

Алгоритмы машинного обучения будут нацелены на выявление закономерностей и аномалий в обработанных данных. Глубокие нейронные сети обеспечат высокую точность анализа спектральных характеристик сигналов, а рекуррентные нейронные сети позволят учитывать временные зависимости.

Планируемым результатом является создание модели, способной выявлять сигналы побочных каналов в условиях реального времени, сравнивать с эталонной моделью активности оборудования и уведомлять о возможной утечке информации. Разработанная методика будет способствовать повышению уровня защиты информации в системах обработки данных за счёт внедрения средств автоматического мониторинга, основанных на алгоритмах машинного обучения.

Литература

1. **Дротенко А.А., Евстифеев А.А., Бонч-Бруевич А.М.** Использование нейросетевых алгоритмов при проведении специальных исследований. М.: Сборник материалов XVII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы — 2023.

А.П. Колосов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИМИТАТОРОВ АТАК НА КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Использование имитаторов атак на корпоративные информационные системы становится всё более актуальным в условиях роста числа угроз информационной безопасности. Однако их ключевой проблемой остаётся недостаток реалистичных моделей атак и отсутствие унифицированного подхода к их разработке [1].

В то же время важной задачей является интеграция таких технологий в процесс обучения сотрудников информационной безопасности. Имитаторы атак позволяют моделировать реальные сценарии, что способствует не только выявлению уязвимостей, но и повышению уровня осведомлённости сотрудников, улучшению навыков обнаружения и реагирования на угрозы.

Но постоянно обслуживать виртуальную инфраструктуру для киберучений очень дорого. К тому же появляются новые риски создать точку входа для злоумышленника в сеть организации.

В научно-исследовательской работе предлагается использовать заранее подготовленные материалы (журналы событий из ОС, интернет-трафик) для имитации атак. Этот метод позволяет существенно упростить как процесс обучения сотрудников ИБ в интегрированных СЗИ, так и повысить осведомленность о методах атаки злоумышленников. Процесс подготовки таких материалов представлен на рис. 1.



Рис. 1. Этапы подготовки материалов для имитации атак

Использование таких имитаторов способствует созданию культуры проактивной защиты, формированию устойчивости корпоративной системы к внешним и внутренним угрозам и повышению уровня компетенций специалистов в администрировании, и эксплуатации СЗИ и в области обеспечения ИБ.

Литература

1. Forbes Technology Council. Four Reasons Breach And Attack Simulation Won't Validate Security // Forbes — 2021.

Р.Ш. Агзамов, студ.;
рук. А.В. Дратвяк, преп. каф. БИТ (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИЩЕННОСТИ КИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ

Рост киберугроз и усложнение корпоративных информационных систем (КИС) создают новые вызовы в области информационной безопасности. Традиционные методы защиты не всегда эффективны против современных атак, что подчёркивает необходимость в усовершенствовании мер безопасности. Тестирование на проникновение является практическим подходом к оценке защищённости системы путём имитации действий злоумышленников [1]. Оно включает этапы сбора информации, активного проникновения, эксплуатации доступа и повышения привилегий, а также документирования результатов [2, 3]. Однако существующие методики часто ограничены определёнными типами систем или атак, что снижает их универсальность и эффективность.

Цель данной работы — разработка плана тестирования на проникновение, основанного на исследовании различных методик и технологий, с учётом их особенностей, преимуществ и недостатков. К числу исследования будет также относиться формирование конкретных рекомендаций по улучшению системы защищённости информационной системы и разработка мероприятий по их внедрению.

Определена классификация пентестов: по уровню знаний об объекте, по типу тестируемых систем, по месту проведения, по методам и применяемым инструментам, по целям и требованиям, по времени проведения.

Выявлены типовые факторы возникновения угроз безопасности, указывающие на необходимость проведения пентеста: беспроводные локальные сети, сложная топология сети; частота обновлений ПО; маркетинговые требования; доступность инструментов взлома; открытое ПО; неконтролируемые удалённые пользователи.

Проведение тестирования по разработанному плану позволит не только выявить слабые места системы, но и сформировать конкретные рекомендации по её улучшению. Таким образом, использование технологий тестирования на проникновение в сочетании с детальным анализом КИС способствует эффективному противодействию современным киберугрозам и обеспечивает надёжную защиту корпоративных данных.

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.
3. **Бегаев А.Н., Бегаев С.Н., Федотов В.А.** Тестирование на проникновение. — СПб: Университет ИТМО, 2018. — 45 с.

И.Д. Мельников, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОНИТОРЫ ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Мониторинг сетевого трафика — это процесс непрерывного отслеживания потоков данных в сети для своевременного выявления аномалий и потенциальных угроз. Мониторы сетевого трафика выступают платформой для создания таких решений, как DLP, UBA и IDS/IPS. Несмотря на возможность мониторов трафика существует проблема ограниченного использования собираемых данных, связанная с неудовлетворительным уровнем понимания их потенциала.

Целью работы является исследование глубины функционала мониторов трафика для разработки стратегии эффективного применения собираемых ими данных и подготовки предложений по векторам развития этих систем.

В рамках исследования проанализированы особенности таких систем мониторинга, как SberNDR, InfoWatch Traffic Monitor.

Выявлены факторы, ограничивающие возможности использования мониторов трафика: низкоуровневый контекстный анализ взаимодействий; плохая адаптивность к новым типам угроз. Ключевым элементом исследования является разработка модели контекстного анализа сетевого трафика, включающей в себя следующие этапы:

1. Выявление базовых паттернов взаимодействий в сети: определение нормального поведения узлов и пользователей (средние значения объёма трафика, частоты запросов) [1].
2. Сравнение текущих данных с историческими для определения аномалий: использование Z-оценки для выявления отклонений [2].
3. Корреляция данных сетевого трафика с журналами доступа для учета поведенческих аспектов пользователей (время активности, IP-адреса, уровни доступа — фактические и согласно AD), используя SQL-запросы.
4. Применение кластеризации (k-means) для автоматического разделения нормальных и аномальных событий.

Разработанная модель позволит повысить точность выявления сетевых аномалий, снизив количество ложных срабатываний и увеличив оперативность реакции на реальные угрозы.

Литература

1. **Татарникова Т. М.** Статистические методы исследования сетевого трафика. Информационно-управляющие системы, 2018.
2. **Е.В. Ляпунцова, Арм Ажи Азиз Салих.** Использование искусственного интеллекта для повышения сетевой безопасности: стратегии обнаружения аномалий и перспективы внедрения, 2024.

*Н.И. Лизунов, студент;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ЛОГИСТИКА ДОКУМЕНТООБОРОТА В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (СМИБ)

Под логистикой документооборота в СМИБ понимается система управления процессами создания, передачи, получения, обработки, хранения и уничтожения документированной информации. При этом в международном семействе стандартов ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000 отсутствуют требования и рекомендации по созданию системы логистики документооборота. Отсюда целью работы является анализ существующих рекомендаций к документированной информации, согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2021, для определения необходимого набора циркулирующих в системе документов. Так же важно определить их взаимосвязь и последовательность создания. При этом для построения эффективной системы логистики документооборота важно осуществить оценку трудоёмкости с учётом необходимого времени.

Планируемым результатом исследования является разработка системы логистики документооборота в СМИБ, согласно требованиям и рекомендациям семейства стандартов СМИБ. В системе должен быть определен набор документов, исходя из необходимости для обеспечения эффективности СМИБ организации [1]. При определении набора документов, будет необходимо определить параметры разработки и управления документами, в том числе их дальнейшее использование в СМИБ. В результате определения набора необходимых документов должны быть разработаны шаблоны для основных документов СМИБ. При этом необходимо определить трудоёмкость разрабатываемых документов с учетом специфики организации. Определение трудоёмкости будет осуществлено экспертным методом. В ходе определения трудоёмкости будет построен граф представляющий последовательность разработки документов, содержащий сведения о необходимом времени и ответственных за разработку лиц с учетом квалификации. Система будет содержать структурную диаграмму логистики документов, отражающую взаимосвязь и поток документов в СМИБ. Диаграмма логистики может быть разработана с применением методологии графического структурного анализа.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27003-2021 Информационные технологии (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Руководство по реализации.

И.А. Земцов, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ (НБП) С ПОЗИЦИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Эффективное планирование непрерывности бизнес-процессов, интегрированное с аспектами информационной безопасности, остается сложной задачей. Существующие подходы недостаточно учитывают риски, связанные с динамичным развитием информационных технологий и ростом киберугроз. Отсутствие комплексного подхода к обеспечению непрерывности работы критической информационной инфраструктуры ограничивает их эффективность при возникновении инцидентов информационной безопасности.

Целью работы является разработка методики планирования непрерывности бизнес-процессов, учитывающую требования информационной безопасности, для повышения устойчивости организаций к инцидентам, связанным с киберугрозами, и обеспечения восстановления КИИ при их возникновении.

Для разработки методики использованы системный анализ для описания механизма непрерывности управления, теория рисков и нечетких множеств для оценки и расчета рисков нарушения информационной безопасности, а также алгебра логики для определения условий функционирования механизмов защиты.

В результате исследования предложена методика, включающая структуру анализа и оценки угроз для критических бизнес-процессов, универсальную модель планирования НБП, пошаговый алгоритм внедрения и рекомендации по мониторингу и улучшению системы обеспечения непрерывности. Эта методика позволит организациям снижать уязвимость, обеспечивать устойчивость к киберугрозам и минимизировать потери при инцидентах, и может быть адаптирована к потребностям объектов энергетики [1].

Литература

1. **BCI Horizon Scan Report 2021** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-th/iso-22301/bci-horizon-scan-report/bci-horizon-scan-report-2021-th.pdf> (дата обращения: 08.12.2024).

Д.Р. Рогов, студ.; рук. Д.А. Карвовский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАЩИЩЕННОСТИ СРЕДСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ САЙТОВ 1С-БИТРИКС

В современном цифровом мире, где веб-ресурсы играют ключевую роль в бизнес-процессах организаций, обеспечение их безопасности становится одной из приоритетных задач. Уязвимости в средствах для создания сайтов могут привести к несанкционированному доступу, утечке данных и другим инцидентам, наносящим ущерб репутации и финансовому состоянию компании.

Одним из популярных инструментов для создания сайтов является платформа 1С-Битрикс, которая широко используется как в коммерческих, так и в государственных организациях. Защищенность платформы напрямую влияет на безопасность созданных на ней веб-ресурсов, поэтому анализ ее уязвимостей и рисков крайне важен для защиты информации и поддержания устойчивости интернет-сервисов.

Однако процесс анализа защищенности платформы 1С-Битрикс является сложной задачей, требующей учета множества факторов: особенностей архитектуры системы, встроенных механизмов безопасности, регулярных обновлений, а также типичных ошибок при внедрении и эксплуатации. Кроме того, необходимо учитывать актуальные угрозы и методы их реализации злоумышленниками [1].

Неэффективная защита веб-ресурсов может привести к успешным атакам, таким как SQL-инъекции, XSS (межсайтовый скриптинг), CSRF (подделка межсайтовых запросов) и другим видам атак. Это может вызвать нарушение работоспособности сайта, компрометацию данных пользователей и значительные финансовые потери.

Целью данной работы является проведение комплексного анализа защищенности платформы 1С-Битрикс и выявление потенциальных уязвимостей, а также разработка рекомендаций по усилению безопасности для пользователей этой платформы.

Результатом работы станет методика анализа защищенности веб-ресурсов на платформе 1С-Битрикс, включающая: классификацию основных типов угроз и уязвимостей для платформы; рекомендации по настройке встроенных механизмов защиты; алгоритм проведения аудита безопасности сайтов на 1С-Битрикс; метрики и методы оценки защищенности; примеры практического применения методики для повышения уровня безопасности веб-ресурсов.

Литература

1. **1С-Битрикс: Защита веб-проектов от типовых угроз** [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.1c-bitrix.ru/learning/course> (дата обращения: 12.11.24).

Секция 21

ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Applied and business Informatics

Председатель секции: к.т.н., доцент Крепков Игорь Михайлович

Секретарь секции: Баланев Кирилл Сергеевич

А.И. Некрасов, студ.; рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИИ-МОДУЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗЮМЕ

Автоматизация процесса обработки резюме может упростить подбор персонала. Предлагается разработка интерактивного модуля с использованием искусственного интеллекта (ИИ) для анализа и классификации резюме кандидатов. Система основана на методах обработки естественного языка (NLP) и машинного обучения, что позволяет значительно ускорить и улучшить процесс отбора кандидатов [1].

В основе модуля лежит предобученная языковая модель BERT, адаптированная для работы с текстами резюме [2]. Это обеспечивает высокую точность извлечения ключевых характеристик из неструктурированного текста. Разработанный модуль осуществляет предобработку текста, извлечение релевантной информации, классификацию резюме по категориям и ранжирование кандидатов, что существенно облегчает работу HR-специалистов.

Интерфейс системы разработан с учетом потребностей HR-отдела и позволяет специалистам не только просматривать результаты автоматического анализа, но и корректировать их при необходимости, обеспечивая гибкость в принятии решений. Тестирование показало значительное повышение эффективности: скорость обработки резюме увеличилась на 70%, а точность классификации достигла 85% по сравнению с традиционным ручным анализом.

Дальнейшие исследования направлены на повышение точности системы путем расширения обучающей выборки и совершенствования алгоритмов, а также на расширение функциональности модуля, включая возможность анализа видеорезюме и интеграцию с существующими HR-системами.

Литература

1. **Мальцева, Д.А.** Использование нейронных сетей в задачах рынка труда // Интеграция науки, общества, производства и промышленности: проблемы и перспективы. 2024. С. 115.
2. **Антонова, И.И., Смирнов, В.А., Ефимов М.Г.** Интеграция искусственного интеллекта в ERP-системы: достоинства, недостатки и перспективы. Казань: РЖЭЗ, 2024.

Д.Д. Митюнин, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ: ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РОБОТИЗАЦИИ «PIX RPA»

Современные бизнес-процессы становятся всё сложнее и требуют внедрения инновационных технологий для оптимизации. Особое внимание уделяется машинному зрению, которое с помощью ИИ анализирует визуальные данные, что позволяет значительно повысить эффективность и точность производственных процессов.

Одной из перспективных платформ для роботизации является PIX RPA. Интеграция машинного зрения позволяет оптимизировать бизнес-процессы, автоматизируя контроль качества, обработку визуальных данных и принятие решений на основе изображений. Это помогает минимизировать влияние человеческого фактора и повысить точность выполнения задач [2].

В процессе интеграции модуля машинного зрения в роботизируемые бизнес-процессы были исследованы и внедрены инструменты для улучшения обработки данных, что позволило повысить общую эффективность бизнес-операций и улучшить производственные показатели.

Исследования показали, что применение машинного зрения в роботизированных системах, например, в PIX RPA, не только сокращает время выполнения задач, но и способствует снижению операционных затрат, повышению точности процессов и увеличению производительности. Пример успешной интеграции этих технологий демонстрирует их потенциальное влияние на долгосрочную конкурентоспособность предприятий [1].

Таким образом, внедрение машинного зрения через платформу PIX RPA становится стратегическим решением для компаний, стремящихся к цифровой трансформации. Эти технологии повышают эффективность бизнеса и помогают быстрее адаптироваться к изменениям на рынке, используя отечественные разработки.

Литература

1. **Махмуд Хасабаллах и Али Исмаил** *Авад Deep Learning in Computer Vision: Principles and Applications: принципы глубокого обучения и его применение в области компьютерного зрения /* издательство CRC Press. Дата публикации — **2020 год**.
2. **Официальный сайт компании «PIX Robotics»** [Электронный ресурс]. URL: <https://pix.ru/> (дата обращения: 23.10.2024).

Л.С. Марков, студ.; рук. А.Л. Алыкова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

СОЗДАНИЕ ЗАЩИЩЕННОГО МЕССЕНДЖЕРА С АССИМЕТРИЧНЫМ ШИФРОВАНИЕМ

В нынешних условиях для общения между людьми активно используются мессенджеры, которые были разработаны за рубежом либо хранят там свои данные, что не гарантирует безопасности передачи конфиденциальной информации.

В докладе рассматриваются проблемы, решаемые при разработке мессенджера, отвечающего высоким требованиям безопасности. Первая из них — безопасная передача данных по цепочке клиент — сервер — клиент. Для этого используется криптографическая система с открытым ключом для шифрования сообщений и закрытым ключом для их дешифрования. При этом закрытый ключ никогда не передается, а сообщения хранятся на стороне клиента, за это отвечает NoSQL база данных realmDB. На сервере временно хранятся только те сообщения, которые не могут быть переданы из-за не открытого канала WebSocket, для этого используется NoSQL база данных MongoDB. В реализации криптографической системы используется алгоритм RSA, который основан на вычислительной сложности задачи факторизации больших простых чисел, и технология электронной подписи для решения проблемы «человека по середине» и подтверждения корректного обмена ключами.

Вторая проблема заключается в обеспечении надежного соединения одновременно достаточно большого количества клиентов. Back-End реализован на языке Rust и использует несколько его библиотек: Axum [1], Futures, Tokio. Первые две отвечают за выполнение транзакций и работу с WebSocket, а также позволяют осуществлять раздельную отправку и получение сообщений. Tokio отвечает за обработку асинхронных функций, создание легковесных потоков, которые могут избавить от излишнего переключения контекста, а также предоставление специфичных для Tokio средств синхронизации [2]. Для создания клиентской части применяется фреймворк Flutter, который позволяет создавать кроссплатформенные приложения и одну из реализаций архитектурного подхода Business Logic Component, такую как Bloc.

Литература

1. **Официальная документация «Axum» [Электронный ресурс]**. URL: <https://docs.rs/axum/latest/axum/> (дата обращения 04.11.2024).
2. **Средства синхронизации «Tokio» [Электронный ресурс]**. URL: <https://docs.rs/tokio/latest/tokio/sync/index.html> (дата обращения 01.11.2024).

*Т.А. Алёшечкина, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ТРЕЙДИНГЕ

Прогнозирование временных рядов — неотъемлемая часть анализа данных, представляющая собой процесс предсказания будущих значений временного ряда на основе его истории. В данной работе проводится сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования динамики цен акций, что является актуальной проблемой в области финансовых исследований.

Алгоритмический трейдинг — это форма автоматизированной торговли, где компьютерные алгоритмы используются для принятия решений о покупке и продаже финансовых активов. Применение машинного обучения в алгоритмическом трейдинге открывает новые горизонты для повышения эффективности торговых стратегий, позволяя повышать точность прогнозирования и легко адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям.

Для исследования были выбраны модели машинного обучения: линейная регрессия и модель случайного леса. Данные модели имеют свои достоинства и недостатки. Линейная регрессия представляет собой статистический метод, позволяющий моделировать отношение между одной или несколькими независимыми переменными (предикторами) и зависимой переменной (откликом) с использованием линейной функции. Данная модель находит оптимальные значения коэффициентов линейного уравнения путем минимизации суммы квадратов отклонений между фактическими и предсказанными значениями отклика [1]. Модель случайного леса — это ансамблевый метод машинного обучения, который состоит из множества независимых деревьев решений. Каждое дерево обучается на случайной выборке данных и случайном подмножестве предикторов. Предсказание модели основано на усреднении предсказаний всех деревьев в ансамбле.

В результате исследования проведено обучение и тестирование моделей на исторических данных, получены прогнозируемые значения и определены необходимые метрики, показывающие эффективность данных моделей при решении этой задачи.

Литература

1. **Быкова М.Л., Фраймович Д.Ю.** Статистическое моделирование и прогнозирование: учебное пособие / Быкова М.Л., Фраймович Д.Ю. — Владимир: ВлГУ, 2023. — 144 с. — ISBN 978-5-9984-1686-6

*Д.А. Разина, прогр. ОВР;
рук. А.О. Горбунова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ СТУДЕНТА» С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ ОНЛАЙН РЕСУРСОВ ВУЗА ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

В условиях стремительного развития цифровых технологий информационные системы стали неотъемлемым атрибутом повседневной жизни студентов и функционирования учебных заведений. В сфере образования внедрение таких систем приобретает особую актуальность.

Создание личного кабинета студента — специализированной информационной системы, направленной на оптимизацию учебного процесса, является одним из приоритетных направлений в современной образовательной деятельности.

Для обеспечения эффективного функционирования данной системы и создания комфортных условий для студентов критично важно внедрение информационных технологий [1]. Целью такого подхода является повышение качества сервиса и обеспечение удобным и доступным инструментом управления учебным процессом студента.

Предположим, студенту следует решить множество задач: посмотреть расписание занятий, узнать информацию об оплате проживания в общежитии, заказать справки. Традиционно это требовало посещения множества кабинетов, расположенных, возможно, в разных зданиях университета. В настоящее время благодаря цифровым технологиям все вышеперечисленное можно сделать в пару кликов с помощью цифрового профиля.

Реализация данной информационной системы позволит улучшить качество взаимодействия студентов с учебным заведением и увеличить уровень удовлетворенности студентов. Личный кабинет предоставит студентам возможность отслеживать свой академический прогресс в виде различных рейтингов, получать доступ к актуальной информации о разных сферах образования, например, оплата обучения, события, научные сообщества, место для прохождения практики, общежитие и так далее, а также осуществлять переход в другие системы университета и возможность заказа различных документов, подтверждающих обучение, академическую успеваемость, размер стипендии, копия документа об образовании и другие.

Литература

1. Бочаров М.И., Баранова Е.В., Куликова С.С., Павлова Т.Б. Информационные технологии в образовании. ЛАНЬ, 2021.

*В.К. Денисенко, соиск.; И.Д. Рябов, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ ПО ЕВКЛИДОВОЙ НОРМЕ

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является FlatL2.

FlatL2 — это метод поиска ближайших соседей, основанный на вычислении евклидова расстояния среди всего набора данных для измерения схожести между объектами в многомерных пространствах, рассчитывается по формуле (1):

$$L2(xq, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^d (y_i - xq_i)^2}, \quad (1)$$

где xq — вектора запроса, y — вектор в индексе, d — размерность векторов.

Основная идея метода заключается в том, чтобы представить каждый объект в виде вектора признаков в многомерном пространстве. Затем вычисляется евклидово расстояние между всеми объектами в наборе. При поиске ближайших соседей алгоритм находит объекты, чьи векторы наименее отличаются от вектора запроса.

Преимущество FlatL2 заключается в простоте и относительной эффективности в пространствах с низкой и средней размерностью данных, он обеспечивает абсолютную точность в вычислении расстояний между объектами для задач, где важны малейшие различия в признаках, а также не требует предварительного обучения структуры данных.

К недостаткам можно отнести медленную скорость поиска, ввиду необходимости вычисления евклидова расстояния до каждого элемента набора для обеспечения абсолютной точности, а также, при работе с высокоразмерными данными, FlatL2 может столкнуться с проблемой «проклятия размерности». В таких случаях могут быть более эффективными методы, такие как Product Quantization или Locality-Sensitive Hashing, специально разработанные для работы с высокоразмерными данными.

Литература

1. **Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С.** Разработка модели на основе k-means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*В.К. Денисенко, соиск.; Т.Е. Луговая, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ АЛГОРИТМОМ FLAT INNER PRODUCT

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является Flat Inner Product.

Flat Inner Product — это алгоритм поиска ближайших соседей, который использует внутреннее произведение векторов для измерения сходства между объектами в многомерном пространстве.

В отличие от евклидова расстояния, FlatIP измеряет схожесть как косинус угла между векторами признаков. Этот метод часто используется в задачах, где важно выявление семантической схожести между объектами, таких как в области рекомендательных систем, где пользователю рекомендуются объекты, схожие с теми, которые он ранее выбирал или просматривал.

FlatIP позволяет эффективно работать с данными, где важны не только значения признаков, но и их направления в многомерном пространстве. Он может быть эффективен в контекстах, где косинусное сходство является более релевантной метрикой схожести, чем евклидово расстояние.

Литература

1. **Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С.** Разработка модели на основе k-means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*А.Н. Кошелев, студ., Н.Р. Жамейко, студ., В.К. Денисенко, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32

STM32 — это 32-битные микроконтроллеры, разработанные STMicroelectronics. Устройства STM32 обширно используются в различных микросхемах, как в самых маленьких, так и в крупных. Программирование микропроцессоров компании STMicroelectronics предоставляет обширные возможности для создания надежных решений.

Микроконтроллеры STMicroelectronics созданы на архитектуре ARM Cortex-M, это дает высокую производительность и низкое энергопотребление. STMicroelectronics предлагает разные варианты конфигурации своих микроконтроллеров.

Для программирования микроконтроллеров STM32 разработчики могут использовать:

- STM32CubeIDE;
- STM32CubeMX.

Основным языком программирования для STM32 является С. Используемые разработчиками стандартные библиотеки HAL или LL, дают им возможность с лёгкостью управлять ресурсами STM32.

Программирование микроконтроллеров STM32 открывает обширные возможности для разработчиков. При помощи мощных инструментов и огромного набора библиотек, используя потенциал современных микроконтроллеров, разработчики легко могут воплотить любую свою идею в жизнь.

Литература

1. Программирование STM32 на языке C++ [электронный ресурс] — <https://sky.pro/wiki/gamedev/programirovanie-stm32-na-yazyke-c/>
2. **Лакамера Д.** Архитектура встраиваемых систем. Разработка защищенных и подключенных устройств с примерами кода на С. — М.: ДМК Пресс, 2023. — 332 с.

*В.К. Денисенко, соиск.; Д.Э. Борцова, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА УСКОРЕННОГО ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В ВЫСОКОРАЗМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является Product Quantization.

Product Quantization представляет собой метод для ускоренного поиска ближайших соседей в высокоразмерных пространствах. Этот метод основан на идее разбиения пространства признаков на подпространства меньшей размерности и последующего применения кодирования для представления признаков в каждом из этих подпространств. Метод квантования векторов эффективен в решении проблемы вычислительной сложности операций поиска ближайших соседей в высокоразмерных пространствах, предоставляя компромисс между сохранением информации и снижением размерности данных. На рисунке 1 проиллюстрировано квантование вектора с 512 признаками на 64 подвектора и их последующие кодирование индексом кластера, благодаря чему, степень сжатия исходного вектора может достигать 95%.



Рис. 1. Квантование вектора с 512 признаками

Литература

1. Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С. Разработка модели на основе k-means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*В.К. Денисенко, соиск.; Н.Ю. Румасова, соиск.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ ИНДЕКСА ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В БОЛЬШИХ НАБОРАХ ДАННЫХ

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является Inverted File.

Inverted File — представляет собой эффективный метод организации индекса для ускоренного поиска ближайших соседей в больших наборах данных.

Основная концепция IVF заключается в предварительном разбиении пространства признаков, методом кластеризации k -средних, на различные области и расчета для них центроидов, где для каждой области строится собственный индекс.

Кластеризация позволяет значительно ускорить операции поиска, поскольку запрос направляется только к тем областям, которые предположительно близки к нему. IVF эффективно справляется с проблемой перебора всех объектов в пространстве признаков, снижая вычислительную сложность операций поиска ближайших соседей. Подходит для сценариев, где важна скорость выполнения запросов, исключая необходимость в полной релевантности результатов.

Эффективность метода зависит от правильного выбора параметров, таких как количество областей и их размерности, что требует тщательной настройки для оптимальной производительности. IVF применяют в областях, таких как компьютерное зрение, анализ изображений, обработка видео и другие задачи обработки больших объемов данных.

Литература

1. **Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С.** Разработка модели на основе k -means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*В.К. Денисенко, соиск.; Н.Ю. Румасова, соиск.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ ПРИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ДАННЫХ

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является Hierarchy Navigable Small World.

Hierarchy Navigable Small World — это метод поиска ближайших соседей, представляющий собой иерархическую структуру данных, обеспечивающую эффективный и быстрый поиск в многомерных пространствах.

Основная идея HNSW заключается в построении графа, где каждая вершина представляет объект в пространстве признаков, и ребра представляют связи между объектами на основе их близости. Этот граф формирует иерархию, что обеспечивает эффективную навигацию при поиске ближайших соседей. HNSW позволяет эффективно проводить операции поиска ближайших соседей в больших объемах данных с сохранением высокой точности.

Структура графа позволяет быстро ограничивать области поиска, фокусируясь на близких соседях и минимизируя количество сравнений. Он активно применяется в задачах, таких как машинное обучение, анализ данных и информационный поиск.

Для достижения оптимальной производительности требуется настройка параметров, таких как уровень иерархии и количество связей, что может потребовать определенного уровня анализа в конкретных сценариях использования

Литература

1. **Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С.** Разработка модели на основе k-means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*А.Н. Кошелев, студ.; Н.Р. Жамейко, студ.; К.С. Баланев, асп.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НЕЙРОФИЗИОЛОГИЮ

Двадцать первый век ассоциируется с информационной эрой. Развитие информационных технологий позволяет достичь высоких показателей в разных областях деятельности человека. Одной из таких областей является медицина [1].

В начале 2024 года Правительство Российской Федерации утвердило стратегию системного развития (цифровизация в медицине и здравоохранении) на ближайшие годы, в которой выделены основные направления в области цифровой трансформации [2].

Благодаря этому, использование искусственного интеллекта позволило повысить процент выявления патологий у пациентов. Однако, остается не мало сфер в медицине, где подобные технологии еще предстоит внедрить.

Подобными отраслями медицины являются изучение иммунной системы человека, изучение центральной нервной системы человека, и ряд других направлений.

Вся сложность внедрения информационных инноваций в медицину заключается в необходимости иметь высокую точность расчетов и учета многих неясных условий, например индивидуальность протекания той или иной потенциальной болезни, что существенно осложняет проектирование необходимых инструментов [1].

Таким образом, разработка актуальных и необходимых информационных систем, программного обеспечения или же инструментов, не имеющих мировых аналогов, остается лишь вопросом времени.

Литература

1. **Тополь Э.**, Искусственный интеллект в медицине: Как умные технологии меняют подход к лечению. — М.: Альпина Публишер, 2022. — 400 с.
2. **Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 апреля 2024 г. № 959-р** Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации здравоохранения // ГАРАНТ.РУ URL: <https://base.garant.ru/408913257/>

*В.К. Денисенко, соиск.; Д.Э. Борцова, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДА ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В МНОГОМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

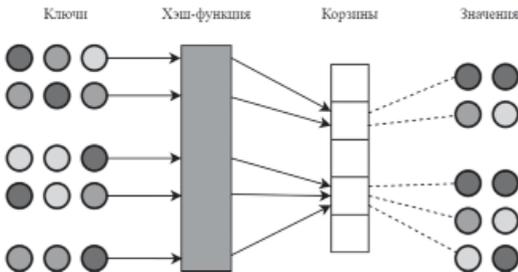


Рис. 1. Верхнеуровневый принцип работы метода LSH

При реализации программного решения для поиска ближайших соседей в больших наборах данных необходимо выбрать методы, которые будут осуществлять эффективный поиск ближайших соседей в векторном пространстве [1]. Одним из таких методов является Locality-Sensitive Hashing.

Locality-Sensitive Hashing представляет собой метод приближенного поиска ближайших соседей в многомерных пространствах, призванный справляться с проблемой вычислительной сложности, связанной с поиском точных соседей в высокоразмерных данных. Этот метод основывается на идее хэширования, которое сохраняет близость между объектами в их хэш-коды, обеспечивая эффективный поиск ближайших соседей в больших наборах данных. LSH разбивает пространство признаков на гиперобласти и ассоциирует с каждой областью свой уникальный хэш-код. Объекты, близкие в пространстве, с высокой вероятностью будут иметь схожие хэш-коды, что позволяет быстро и эффективно отсеивать потенциальных ближайших соседей на этапе поиска. Этот метод является отличным инструментом для задач, где точный поиск ближайших соседей не является критически важным, а приближенные результаты приемлемы. Верхнеуровневый принцип работы метода LSH проиллюстрирован на рисунке 1.

Литература

1. Привалов К.Э., Дубровская Е.А., Баланев К.С. Разработка модели на основе k-means для выявления потенциально неуспевающих студентов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. — Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. — С. 1026–1029.

*С.А. Михайлов, студ.; М.Д. Окулов, студ.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ: АВТОМАТИЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Информационные системы управления проектами в настоящий момент являются неотъемлемой частью успешного осуществления проектов различной степени сложности.

В данном докладе рассматривается значимость информационных систем в управлении проектами, включая планирование, мониторинг и контроль выполнения задач. Особое внимание уделяется возможностям автоматизации рутинных процессов, таких как распределение задач, отслеживание сроков и управление ресурсами, что позволяет сократить временные затраты и минимизировать ошибки [1].

Примеры системы управления проектами, как Microsoft Project и Jira, демонстрируют, как автоматизация может сократить время на выполнение рутинных задач и минимизировать человеческие ошибки. Эффективность управления проектами повышается благодаря возможности учета ресурсов, отслеживания сроков и бюджета [2]. ИС также влияет на принятие решений, улучшая аналитику и отчетность. Успешные кейсы использования ИС для повышения эффективности, такие как возврат инвестиций от их внедрения, подчеркивают важность данной темы. Преимущества и вызовы внедрения ИС разнообразны: среди преимуществ можно выделить улучшение коммуникаций, доступ к актуальной информации и повышение прозрачности. Однако присутствуют и вызовы, такие как сопротивление изменениям, необходимость обучения персонала и возможные проблемы с интеграцией.

В заключение, можно сказать о тенденции развития информационных технологий в управлении проектами, включая использование искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процессов. Таким образом, интеграция информационных систем в управление проектами не только автоматизирует процессы, но и значительно повышает общую эффективность работы команд, способствуя успешной реализации проектов в современных условиях.

Литература

1. **Сафонова А.А., Куксачева О.Н., Карпович В.Ф.** Информационные системы управления проектами // — Минск, Республика Беларусь, Белорусский национальный технический университет, 2024.
2. **Чекмарев А.В.** Управление цифровыми проектами и процессами: учебное пособие для академического бакалавриата, 2024. — 424 с.

*А.Н. Кошелев, студ.; Н.Р. Жамейко, студ.; В.К. Денисенко соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ЗНАЧИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ СОБСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РОССИИ

В связи с глобальными изменениями, вызванными цифровизацией, и необходимостью создания независимых технологий разработка программного обеспечения становится актуальной проблемой в России.

Одним из главных преимуществ разработки собственного программного обеспечения является экономическая независимость. Разработка отечественного программного обеспечения позволила снизить зависимость от зарубежных поставщиков, что особенно важно для таких важных отраслей экономики, как энергетика, транспорт и безопасность.

Разработка собственного программного обеспечения способствует укреплению национальной безопасности. Использование программного обеспечения сторонних производителей может вызвать угрозы, связанные с утечкой данных или внедрением вредоносного кода. Создание и внедрение отечественных решений позволяет контролировать потоки информации и защищать стратегически важные данные от внешних угроз.

Разработка российского проприетарного программного обеспечения имеет огромное значение для экономической независимости, национальной безопасности, инновационного развития и создания рабочих мест. В условиях глобальных изменений этот процесс стал не только необходимым, но и стратегически важным для будущего страны.

Литература

1. **Битти Д., Вигерс К.** Разработка требований к программному обеспечению. — СПб: БХВ, 2019. — С. 736.

А.В. Ермаков, соиск.; рук. И.М.Крепков, проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ UML ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Язык моделирования UML является международным стандартом при проектировании сложных систем [1]. При этом одним из недостатков UML является предоставление набора диаграмм «Как есть» без явной методики их применения. Предлагается методика применения UML при проектировании сложных систем. Методика основана на **системном подходе** к анализу предметной области при проектировании ИТ-решений.

Состав методики и последовательность построения диаграмм:

- Построение **диаграммы прецедентов**, отражающей **цели** системы. Отношение include применяется для декомпозиции целей по методу слоев на обязательные подцели. Отношение extend применяется для отражения дополнительных целей, достигаемых при определенных условиях.
- Для каждой цели строится **диаграмма деятельности**, детализирующая алгоритм достижения цели. Прецедент отображается на диаграмме деятельности как конечный результат.
- Для каждой диаграммы деятельности строится **диаграмма последовательности действий**. Связь между диаграммами осуществляется через прецедент (цель). Это необходимо для привязки актеров к реакции системы на их действия. На диаграмме последовательности действий необходимо отразить основные методы классов.
- Ключевые состояния системы декомпозируются **диаграммами состояний**. Т.к. состояния отражены на диаграмме деятельности, то это обеспечивает связь между состояниями и прецедентом.
- Строится диаграмма классов. **Основное внимание требуется уделить иерархии классов**, поскольку их взаимодействие отражено на диаграмме последовательности действий в привязке к прецеденту.
- Для проектирования логической архитектуры строится **диаграмма компонентов**. На диаграмме необходимо отразить классы, реализованные в компонентах, для обеспечения связи между диаграммами.
- Для проектирования физической архитектуры строится **диаграмма развертывания**.

Литература

1. **Галиаскаров Э.Г., Воробьев А.С.** Анализ и проектирование систем с использованием UML: учебное пособие для вузов. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 125 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14903-6

И.С. Митрофанов, студ.;
рук. Н.Н. Елизарова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ НОРМАТИВНЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Современные предприятия, связанные с опасными производствами, сталкиваются с необходимостью эффективного управления ресурсами, особенно средствами индивидуальной защиты (СИЗ), использование которых позволяет свести к минимуму неблагоприятные последствия для здоровья персонала предприятий [1]. Повышению уровня профессиональных рисков способствует низкий уровень использования СИЗ персоналом, однако даже при соблюдении высокого уровня использования эффективность СИЗ может быть снижена ненадлежащим техническим обслуживанием или несвоевременной заменой непригодных к эксплуатации элементов защиты [2].

Предложенная система будет обладать удобным интерфейсом и позволит принимать более рациональные решения для отслеживания и управления запасами СИЗ, а именно окажет поддержку в выявлении на основе анализа имеющихся СИЗ средств защиты с истекшим или приближающимся к окончанию сроком использования и в связи с этим нуждающихся в продлении срока использования или утилизации, в генерации учетной и отчетной документации согласно требованиям предприятия, в планировании закупок СИЗ в общем списке товарно-материальных ценностей на основе полученных в результате работы системы статистических данных и приведенных рекомендаций на их основе.

Ожидается, что введение в эксплуатацию данной системы обеспечит увеличение эффективности процесса учета и контроля нормативных сроков эксплуатации СИЗ, что в свою очередь приведет к снижению числа инцидентов, связанных с нарушениями сотрудниками опасных производств требований безопасности в связи с находящимися в эксплуатации неисправными или непригодными СИЗ, и повысит безопасность персонала опасных производств.

Литература

1. Noel, C., Ryan, B., & Bruce, E. A Systematic Review of PPE Recommendations for First Responders, and Medical Professionals to Nuclear Radiological Events at Nuclear Power Plants. // Prehospital and Disaster Medicine. 2023. 38, s1–s2.
2. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Требухин А.Б., Нефёдов А.Ю., Тюнеева Л.И., Клочкова Е.В. Средства индивидуальной защиты персонала радиационно и химически опасных объектов атомной промышленности и энергетики // Гигиена и санитария. 2017. 96(9):874–878.

А.В. Ермаков, соиск.; рук. И.М. Крепков, проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГРАММЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ UML ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Диаграмма прецедентов является первым этапом моделирования сложной системы [1]. При этом в литературе детально не разбираются особенности ее практического применения. При этом опыт применения системного подхода позволяет сформулировать ряд правил ее использования. **Предлагается** рассматривать диаграмму прецедентов как **дерево целей системы**. Построение диаграммы предлагается производить сверху вниз от видения системы к его реализации в виде сценариев использования. Предлагаемый подход позволяет не рассматривать прецеденты как отдельные сущности и изначально перейти к целостному проектированию системы.

Построение диаграммы необходимо начинать с **одного прецедента**, иллюстрирующего видение системы. Актеры должны олицетворять наиболее общее представление о взаимодействующих сущностях.

Декомпозиция **прецедентов** производится отношениями include, если цель является обязательной и отношениями extend, если цель является опциональной и достижима при определенных условиях. Условия фиксируются на отношениях. Нижний уровень прецедентов должен соответствовать сценариям использования системы. Все прецеденты должны быть связаны между собой отношениями.

Декомпозиция **актеров** производится отношениями realize. Таким образом, актеры выстраиваются в **ролевою модель системы**. При этом ассоциации позволяют связать роль актера и уровень прецедента, в котором он принимает участие, что определяет зоны распределения прав/ответственности. При необходимости, можно связать ролевою модель системы с организационной структурой, поскольку актер реализуется одним или несколькими сотрудниками организации. Если актер реализуется системой, то предлагаемый подход позволяет смоделировать и **модель интеграции**.

При дальнейшем проектировании построение диаграмм деятельности допустимо осуществлять только для нижнего уровня диаграммы прецедентов. Для верхних уровней проектирование допустимо осуществлять выборочно для отображения ключевых состояний системы.

Литература

1. **Галиаскаров Э.Г., Воробьев А.С.** Анализ и проектирование систем с использованием UML: учебное пособие для вузов. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 125 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14903-6

А.В. Ермаков, соиск.; рук. И.М. Крепков, проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЙ И ДИАГРАММЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ UML ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В большинстве случаев диаграмма деятельности и диаграмма состояний чертятся по отдельности и поэтому отследить связь между ними является затруднительным. В литературе [1] диаграммы также рассматриваются отдельно. Предлагается использовать диаграмму деятельности и диаграмму состояний совместно. Предлагается декомпонировать/дополнять изображение состояния на диаграмме деятельности сущностью «состояние», применяемой на диаграмме состояний.

При черчении диаграммы деятельности состояния изображаются символами с диаграммы состояний, отражающими следующие обязательные ключи: /entry (входное действие), /exit (выходное действие), /do (деятельность внутри состояния). В этом случае при черчении диаграммы состояний упрощается связь с диаграммой деятельности. При этом декомпозицию состояния также предлагается осуществлять с помощью диаграммы деятельности, отражающей действия ключа /do. Далее логика повторяется. Подход обеспечивает детальное представление состояний системы при совершении действий. Глубина декомпозиции определяется тем, является ли операция в ключе /do атомарной для данной задачи или нет.

Второй вариант совместного использования состоит в черчении диаграммы деятельности и диаграммы состояний параллельно на одном листе. При этом рационально соединять состояния на диаграммах пунктирной линией, описывающей логическую общность.

Модель может быть дополнена переходами, так как это декларирует диаграмма состояний. Переходы могут иллюстрировать как взаимосвязи между диаграммами, так и ориентированными на логику диаграммы состояний.

Объединенная модель прежде всего предназначена для использования при проектировании систем, где состояние может определять функционал архитектурных компонентов или способ их взаимодействия. Практическое применение модели для проектирования простых систем можно признать излишним.

Литература

1. **Галиаскаров Э.Г., Воробьев А.С.** Анализ и проектирование систем с использованием UML: учебное пособие для вузов. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 125 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14903-6

А.В. Ермаков, соиск.; рук. И.М.Крепков, проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ UML ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОТОКОВ ДАННЫХ НА ПРАКТИКЕ

При проектировании сложных систем необходимо моделирование обработки потоков данных системой. При этом набор диаграмм UML не содержит среди базовых диаграмм модель потоков данных. В литературе [1] также не содержится материалов, позволяющих построить модель потоков данных. В большинстве ситуаций для моделирования применяется логика DFD и нотация Гейна-Сарссона или Йордона-Де Марко. Возможностей DFD недостаточно для понимания логики обработки данных в сложных системах, поскольку отсутствуют необходимые примитивы.

Предлагается использование примитивов UML для построения модели потоков данных, ориентируясь на логику DFD и особенности современных систем. Логика модели: источник данных и получатель данных являются актерами по отношению к задаче обработки данных. Актеры используют интерфейсы для взаимодействия с задачей обработки данных. Задача обработки данных реализуется в виде архитектурного компонента системы. Так как хранилище в большинстве ситуаций реализуется СУБД, то рационально использовать примитив класса. Регламент обработки данных предлагается обозначать примитивом комментариев к компоненту. Интерфейсы необходимы, так как с помощью стандартной ассоциации затруднительно отобразить логику преобразования данных.

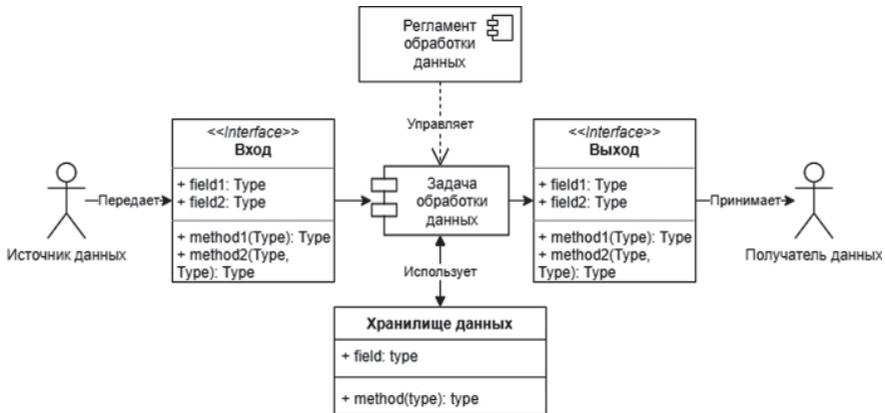


Рис. 1. Пример диаграммы потоков данных, в примитивах UML

Литература

1. Галиаскаров Э.Г., Воробьев А.С. Анализ и проектирование систем с использованием UML: учебное пособие для вузов. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 125 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14903-6

Р.Д. Городенко, студ.; рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ К ПОНИМАНИЮ ЮМОРА

Современные алгоритмы машинного обучения демонстрируют впечатляющие результаты в области обработки естественного языка, однако способность подмечать в явлениях их комичные, смешные стороны остаётся сложной задачей на пути к созданию сильного искусственного интеллекта. Обзор литературы показывает наличие противоречивых мнений: некоторые исследования указывают на неспособность нейросетей постичь сущность юмора, в то время как другие демонстрируют успешные примеры его понимания и генерации [1]. Юмор, обогащенный когнитивными и культурными аспектами, а также его субъективность представляют собой серьёзный вызов для искусственного интеллекта. Разнообразие форм юмора — ирония, сарказм, каламбуры [3] — требует от ИИ высокого уровня понимания контекста, что существенно усложняет задачу.

В работе исследуются потенциал и ограничения языковых моделей в интерпретации и генерации юмористических текстов, а также причины, по которым современные архитектуры нейросетей плохо подходят для решения задач генерации и анализа юмора. Цель работы заключается в определении текущих когнитивных возможностей ИИ и выявлении ограничений в области понимания юмора, что имеет важное значение для создания более «человеческого» искусственного интеллекта. Результатом исследования является методология для улучшения генерации и анализа юмористических текстов, которая может быть полезна профессионалам в области юмора, таким как комедианты и сценаристы.

Литература

1. “A Robot Walks into a Bar: Can Language Models Serve as Creativity Support Tools for Comedy?” — 2024 — URL: <https://arxiv.org/pdf/2405.20956> (дата обращения: 22.11.2024).
2. “Do Androids Laugh at Electric Sheep? Humor “Understanding” Benchmarks from The New Yorker Caption Contest” — 2023 — URL: <https://arxiv.org/abs/2209.06293> (дата обращения: 22.11.2024).
3. **Ярцев А.В.** “Юмор. Все инструменты комедии. Как развить чувство юмора. Теория и практика” — 2017.

*Т.А. Алёшечкина, студ., В.К. Денисенко, соиск.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PROCESS MINING ДЛЯ АНАЛИЗА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Process mining — это методология анализа данных, позволяющая извлекать знания о реальном выполнении бизнес-процессов из журналов событий. В отличие от традиционного моделирования, основанного на экспертных оценках, process mining использует данные, регистрируемые информационными системами, для построения фактических моделей процессов. Анализ этих данных позволяет не только реконструировать существующие процессы, но и выявлять узкие места, отклонения от запланированных маршрутов и области для оптимизации.

Ключевыми этапами process mining являются обнаружение процесса (process discovery), проверка соответствия (conformance checking) и улучшение процесса (process enhancement) [1].

На этапе обнаружения применяются различные алгоритмы, такие как α -алгоритм, Heuristics Miner, Inductive Miner, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, позволяющие построить модель процесса с разной степенью детализации и точности.

Проверка соответствия позволяет оценить, насколько фактическое выполнение процесса соответствует разработанной модели, выявляя отклонения и неэффективные этапы.

Наконец, этап улучшения процесса ориентирован на использование полученных знаний для оптимизации рабочих потоков, уменьшения времени выполнения и повышения эффективности.

Process mining находит широкое применение в различных областях, включая здравоохранение, производство, логистику и ИТ-услуги, позволяя добиться значительного улучшения эффективности бизнес-процессов.

Несмотря на очевидные преимущества, process mining сталкивается с вызовами, связанными с качеством данных, масштабируемостью и интерпретацией результатов, что стимулирует постоянное развитие методологии и создание более совершенных алгоритмов и инструментов. Будущее process mining связано с более широким использованием машинного обучения, разработкой более интуитивных методов визуализации и интеграцией с системами управления бизнес-процессами.

Литература

1. Статья «Process Mining. Контролировать бизнес-процессы — легко!» [Электронный ресурс]. URL: <https://datareview.info/article/obzor-knig-process-mining-discovery-conformance-and-enhancement-of-business-processes/> (дата обращения: 16.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., В.М. Вишняков, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ SQL И NEWSQL БАЗ ДАННЫХ

В процессе принятия решения о том, какую базу данных использовать для проекта, необходимо учитывать множество факторов, которые могут существенно повлиять на выбор. Традиционные реляционные базы данных, работающие на основе языка структурированных запросов (SQL), часто становятся предпочтительным вариантом для тех случаев, когда требуется обеспечение высокой надежности и структурированности данных, особенно в контексте обработки большого количества транзакций. SQL-базы данных зарекомендовали себя как стабильное решение для задач, где критически важна целостность и точность данных.

С другой стороны, в современных условиях, когда проекты часто сталкиваются с необходимостью обеспечения непрерывной работы при увеличении объема данных и числа пользователей, а также когда требуется высокая скорость обработки информации и гибкость в масштабировании системы, решения на базе NewSQL могут оказаться более привлекательными. NewSQL базы данных представляют собой новое поколение реляционных баз данных, которые стремятся объединить преимущества традиционных SQL баз с возможностями масштабирования современных NoSQL решений [1]. NewSQL системы обеспечивают поддержку ACID-свойств, но при этом предлагают улучшенные механизмы для обработки больших объемов данных и высокой нагрузки. NewSQL базы данных сочетают в себе преимущества традиционных реляционных систем и новейшие технологии, позволяющие достигать высокой производительности и масштабируемости.

Перед тем как сделать окончательный выбор, крайне важно провести всесторонний анализ и оценку специфических требований системы. Необходимо учитывать такие аспекты, как ожидаемая нагрузка, объем обрабатываемых данных, требования к скорости обработки запросов и возможность масштабирования системы в будущем. Проведение тщательного тестирования различных вариантов баз данных позволит получить представление о том, какое решение будет наилучшим образом соответствовать долгосрочным целям и обеспечит наилучшее сочетание функциональности, производительности и надежности для проекта.

Литература

1. NewSQL: SQL никуда не уходит // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/oleg-bunin/articles/413557/> (дата обращения: 24.11.2024).

В.К. Денисенко, соиск., Я.Е. Иванова, студ.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ SQL И NOSQL

SQL и NoSQL — это две модели баз данных, каждая из которых подходит для различных задач [1]. SQL (Structured Query Language) управляет реляционными базами данных, где информация хранится в структурированных таблицах.

NoSQL (Not Only SQL) охватывает нереляционные модели, включая документы, ключ-значение и графовые базы данных, они лучше подходят для хранения неструктурированных данных.

SQL использует реляционную модель, где данные хранятся в таблицах с определёнными типами (например, целые числа, строки и даты). Запросы выполняются с помощью SQL. В SQL-базах данных, таких как PostgreSQL, MySQL и Oracle, поддержка ACID-транзакций встроена в их архитектуру. Они используют механизмы блокировок, журналов транзакций и других техно логий для обеспечения выполнения всех этих свойств, что делает SQL-базы данных идеальными для приложений, где важна целостность данных.

В NoSQL нет строгих таблиц, данные хранятся в документах или графах, что обеспечивает большую гибкость. Языки запросов для NoSQL, такие как MongoDB Query Language и Cassandra Query Language, позволяют манипулировать данными с учётом их разнообразия. В NoSQL-базах данных, таких как MongoDB, Cassandra и Couchbase, поддержка ACID-транзакций может быть ограничена или реализована по-разному. Например, многие NoSQL-системы предлагают только частичную поддержку ACID или используют модели, которые ставят более сильный акцент на производительность и масштабируемость, чем на строгое соблюдение ACID-свойств. Это может быть приемлемо для приложений, где требования к целостности данных менее строгие, таких как социальные сети или системы обработки больших данных.

Таким образом, выбор между SQL и NoSQL в значительной степени зависит от требований конкретного приложения к транзакциям, целостности данных и масштабируемости. SQL-базы данных подходят для случаев, когда требуется строгая целостность и надёжность, в то время как NoSQL может быть предпочтительным для проектов, где важна гибкость, скорость и возможность масштабирования.

Литература

1. Сравнение SQL- и NoSQL-баз данных // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/727474/> (дата обращения: 24.11.2024).

*А.Н. Кошелев, студ., Н.Р. Жамейко, студ., В.К. Денисенко, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

БУДУЩЕЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Квантовые вычисления — одна из самых интересных и перспективных областей современных технологий. В отличие от классических компьютеров, которые обрабатывают данные в виде битов (0 и 1), квантовые компьютеры используют квантовые биты, которые могут находиться в состоянии 0, 1 или суперпозиции, что позволяет выполнять несколько вычислений одновременно и открывает новые горизонты для сложных задач [1].

Одним из основных преимуществ квантовых компьютеров является то, что они могут решать задачи, которые практически невозможны для классических компьютеров. Например, квантовые алгоритмы, такие как алгоритм Шора, могут разбивать большие объемы данных на множители за меньшее время, чем традиционные методы. Это оказывает большое влияние на криптографию, поскольку многие современные системы безопасности основаны на сложности мультиплексирования.

Сегодня многие ведущие технологические компании и исследовательские институты активно участвуют в разработке квантовых компьютеров. Основными проблемами, с которыми сталкиваются исследователи, являются декогеренция (потеря квантовой информации) и необходимость создания стабильных и масштабируемых систем.

В ближайшие десятилетия ожидается появление более мощных и стабильных квантовых компьютеров, способных решать практические задачи в различных отраслях, что может привести к революции в области искусственного интеллекта, оптимизации процессов и разработке новых технологий [2].

Квантовые компьютеры находятся на пороге серьезных изменений, которые могут оказать глубокое влияние на науку, технологии и общество в целом. Квантовые компьютеры могут стать ключом к решению самых сложных проблем, стоящих перед человечеством, и могут открыть новые возможности для инноваций и развития.

Литература

1. **Хидари Д.Д.**, Квантовые вычисления: прикладной подход. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 370 с.
2. **Каку М.**, Квантовое превосходство: Революция в вычислениях, которая изменит всё. — М.: Альпина Пабlishер, 2024. — 412 с.

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МОНОЛИТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В современном мире разработки программного обеспечения архитектура приложения играет ключевую роль в его успешности, масштабируемости и поддерживаемости. Две самых популярных архитектурных модели — монолиты и микросервисы — обладают своими преимуществами и недостатками.

Монолитная архитектура предполагает, что все компоненты приложения объединены в одно целое, таким образом фронтенд, бэкенд, база данных и другие элементы работают как единый блок. Для небольших команд или стартапов разработка монолита может быть более простой и быстрой, так как все компоненты находятся в одном месте, что облегчает процесс разработки и тестирования.

Монолиты могут обеспечивать высокую производительность, поскольку все вызовы происходят внутри одного приложения, без необходимости межсервисного взаимодействия [1]. Развертывание монолита требует загрузки всего приложения на сервер, что может быть проще, чем координация развертывания нескольких микросервисов.

Также стоит учитывать, что масштабирование монолита может быть сложным, так как оно требует масштабирования всего приложения, даже если нужно увеличить только одну его часть. С увеличением размера кода и количества разработчиков поддержка монолита может стать сложной задачей. Изменения в одном компоненте могут непредсказуемо повлиять на другие. А обновление технологий в монолите может быть затруднительным, так как это требует изменения всего приложения.

Выбор архитектуры зависит от потребностей проекта, команды и множества других факторов. Чаще всего монолитную архитектуру выбирают небольшие команды разработчиков или стартапы для простых приложений с ограниченной функциональностью или если важен быстрый запуск продукта, так как монолит позволяет быстрее реализовать базовую функциональность.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В современном мире разработки программного обеспечения архитектура приложения играет ключевую роль в его успешности, масштабируемости и поддерживаемости. Две самых популярных архитектурных модели — монолиты и микросервисы — обладают своими преимуществами и недостатками.

Микросервисная архитектура предполагает разбивку приложения на независимые компоненты (микросервисы), каждый из которых выполняет свою конкретную функцию и может быть развернут и масштабирован отдельно. Каждый микросервис можно масштабировать независимо, что позволяет более эффективно использовать ресурсы. Изменения в одном микросервисе не влияют на другие, что облегчает процесс поддержки и обновления. Команды могут использовать разные технологии и языки программирования для различных микросервисов в зависимости от их потребностей.

Стоит учитывать, что разработка и управление микросервисами требует более сложной архитектуры и может потребовать дополнительных инструментов для оркестрации и мониторинга [1]. Микросервисы могут страдать от задержек из-за межсервисного взаимодействия, особенно если они активно обмениваются данными. Развертывание нескольких микросервисов может быть сложнее, чем развертывание монолита, требуя более сложных CI/CD процессов.

Данную архитектуру выбирают для масштабируемых и сложных приложений, таким образом микросервисы могут обеспечить необходимую гибкость. В больших командах, работающих над различными компонентами, микросервисы могут помочь разделить ответственность и упростить поддержку. Также такую архитектуру выбирают если приложение требует частых обновлений и изменений.

Выбор архитектуры зависит от множества факторов, включая размер команды, сложность приложения, требования к масштабируемости и частоту обновлений.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ПОДХОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МОНОЛИТА В МИКРОСЕРВИСЫ

Переход от монолитной архитектуры к микросервисной является одной из самых обсуждаемых тем в мире разработки программного обеспечения. С ростом требований к гибкости, масштабируемости и скорости развертывания, многие компании стремятся адаптировать свои системы, чтобы лучше соответствовать современным бизнес-потребностям [1].

Монолит — это единая система, где все компоненты *tightly-coupled* и работают как одно целое, что может облегчить разработку и деплой, однако упрощенная структура также может привести к проблемам с масштабируемостью, сложностями в обновлении и ограниченной гибкости.

Микросервисы — это подход к разработке, при котором приложение разбивается на небольшие независимые службы, каждая из которых отвечает за свою отдельную бизнес-функцию. Эти службы могут развиваться, разворачиваться и масштабироваться независимо друг от друга, что позволяет более эффективно реагировать на изменения в требованиях бизнеса.

Стратегия «Большого Взрыва» — этот подход включает в себя полное переписывание приложения с нуля на основе микросервисной архитектуры. Он дает возможность использовать современные технологии и практики, но также является самым рискованным и затратным. Рекомендуется использовать его только в случае, если монолит уже слишком устарел.

Поэтапное преобразование — этот подход предполагает постепенное выделение микросервисов из существующего монолита, что позволяет минимизировать риски и обеспечить более плавный переход.

Стратегия «Танца с Эволюцией» — команды разработчиков одновременно работают над улучшением монолита и созданием новых микросервисов.

Преобразование монолита в микросервисы — это сложный, но зачастую необходимый процесс на пути к созданию более гибкой и масштабируемой архитектуры. Выбор правильного подхода и применение лучших практик помогут минимизировать риски и добиться успешного результата. Важно адаптировать стратегии в соответствии с конкретными потребностями и контекстом бизнеса.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МОНОЛИТА В МИКРОСЕРВИСЫ. ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ

Переход от монолитной архитектуры к микросервисной — это сложный, но часто необходимый процесс, который позволяет компаниям улучшить гибкость и масштабируемость своих систем [1]. Ниже представлены лучшие практики, которые помогут успешно реализовать этот переход:

1. Правильное выделение микросервисов является ключевым моментом. Необходимо использовать подходы, такие как DDD (Domain-Driven Design), чтобы определить границы сервисов на основе бизнес-доменов, что поможет избежать избыточной связанности между сервисами.
2. Автоматизация — это основа микросервисной архитектуры. Настройка CI/CD (Continuous Integration/Continuous Deployment) для автоматизации тестирования и развертывания позволит быстро и безопасно вносить изменения в систему.
3. При переходе на микросервисы необходимо также пересмотреть подход к управлению данными. Каждому микросервису следует иметь собственную базу данных, чтобы избежать проблем с целостностью данных и связностью.
4. Переход на микросервисы требует нового подхода к мониторингу и логированию. Необходимы инструменты, которые позволяют отслеживать производительность и состояние каждого микросервиса, чтобы быстро выявлять и устранять проблемы.
5. Переход на микросервисы требует изменений в культуре и навыках команды.

Преобразование монолита в микросервисы представляет собой непростой, но часто необходимый шаг к созданию более адаптивной и масштабируемой архитектуры. Правильный выбор подхода и следование лучшим практикам могут существенно снизить риски и обеспечить успешный исход. Крайне важно адаптировать стратегии в зависимости от специфических потребностей и контекста вашего бизнеса.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

АРХИТЕКТУРНЫЕ ШАБЛОНЫ API GATEWAY И CQRS ДЛЯ МИКРОСЕРВИСОВ

В последние годы архитектура микросервисов стала одним из наиболее популярных подходов к разработке программного обеспечения. Она предлагает гибкость, масштабируемость и упрощает внедрение новых функций [1]. Однако, для успешного проекта необходимо учитывать различные архитектурные шаблоны, которые помогут эффективно организовать взаимодействие между микросервисами и обеспечить их надежность.

Шаблон API Gateway выступает в роли единой точки входа для всех клиентских запросов к микросервисам. Он обрабатывает запросы, маршрутизирует их к соответствующим сервисам и собирает ответы. Позволяет упростить взаимодействия клиента с несколькими микросервисами. Дает возможность реализации кросс-сервисной функциональности, такой как аутентификация и авторизация и централизованное управление кэшированием и логированием.

Шаблон API Gateway может стать узким местом в системе. Также стоит учитывать увеличение времени отклика, так как требуется дополнительный уровень обработки запросов.

Шаблон CQRS (Command Query Responsibility Segregation) разделяет операции чтения и записи, позволяя оптимизировать каждую из этих операций отдельно. CQRS полезен в системах с высокой нагрузкой на чтение или запись. При этом стоит отметить увеличение сложности архитектуры. А также требуется дополнительное управление состоянием и синхронизацией данных.

Архитектура микросервисов предоставляет множество возможностей для построения гибких и масштабируемых систем. Тем не менее, выбор правильного архитектурного шаблона имеет решающее значение для успеха проекта. Важно учитывать специфические требования вашего приложения и целевой аудитории, а также потенциальные риски и преимущества каждого шаблона. Используя правильные архитектурные подходы, разработчики могут создать устойчивые и высокопроизводительные микросервисные приложения.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

АРХИТЕКТУРНЫЕ ШАБЛОНЫ SAGA И EVENT SOURCING ДЛЯ МИКРОСЕРВИСОВ

Архитектура микросервисов приобрела огромную популярность как подход к разработке программного обеспечения, при этом важно учитывать различные архитектурные шаблоны, которые помогут эффективно организовать взаимодействие между микросервисами и гарантировать их надежность [1].

Шаблон Saga — это шаблон управления транзакциями, который разбивает длинные транзакции на ряд локальных транзакций. Каждая локальная транзакция выполняется независимо, и в случае ошибки выполняются компенсирующие действия.

Saga позволяет избежать блокировок, которые возникают в традиционных распределенных транзакциях. А также улучшение устойчивости системы за счет локальных транзакций.

Стоит отметить, что ожидается увеличенная сложность управления состоянием и обработкой ошибок. И есть необходимость в реализации логики компенсации.

Шаблон Event Sourcing сохраняет все изменения состояния системы в виде последовательности событий. Вместо хранения текущего состояния микросервиса, хранится история всех изменений.

Event Sourcing ведет полную историю изменений, что позволяет легко восстанавливать состояние системы. Шаблон упрощает реализацию отката изменений и анализа событий.

К недостаткам шаблона стоит отнести увеличение объема хранимых данных и сложность в реализации и понимании концепции событий.

Архитектура микросервисов открывает широкие горизонты для создания гибких и масштабируемых систем. Однако правильный выбор архитектурного шаблона играет ключевую роль в успехе проекта. Важно учитывать уникальные требования вашего приложения и целевой аудитории, а также потенциальные риски и плюсы каждого шаблона. Применяя соответствующие архитектурные подходы, разработчики могут создать надежные и высокоэффективные микросервисные приложения.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

*В.К. Денисенко, соиск., Д.Э. Борцова, соиск. ;
рук. Н.Ю. Румасова, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ОРКЕСТРАЦИЯ МИКРОСЕРВИСОВ В KUBERNETES

Kubernetes — это открытая система управления контейнерами. Она позволяет упрощать процессы развертывания и управления контейнерами в кластерной среде.

Оркестрация микросервисами с использованием Kubernetes — это процесс управления развертыванием, масштабированием и работоспособностью контейнеризованных приложений [1].

Оркестрация микросервисов решает несколько ключевых задач:

1. В крупных системах могут быть десятки или даже сотни микросервисов, каждый из которых требует своего развертывания и управления. Оркестрация упрощает этот процесс.
2. Позволяет автоматически масштабировать приложение в зависимости от нагрузки, что обеспечивает эффективное использование ресурсов.
3. Если один из микросервисов выходит из строя, Kubernetes может автоматически перезапустить его или развернуть новый экземпляр, что повышает общую устойчивость системы.
4. Предоставляет механизмы для безопасного хранения и управления конфигурационными данными и секретами, такими как пароли и API-ключи.
5. Поддерживает стратегии развертывания, которые позволяют обновлять приложения без простоев и легко откатывать изменения в случае проблем.

Kubernetes работает на основе архитектуры клиент-сервер и использует концепции, такие как Pods (единицы развертывания), Services (сети для связи между микросервисами), Deployments (обновления и управление версиями) и Volumes (хранилище данных).

В условиях растущей сложности приложений и потребности в быстром развертывании и обновлении, Kubernetes предлагает надежное решение, способствующее эффективной работе с микросервисной архитектурой.

Литература

1. Монолитная и микросервисная архитектура. Сравнение // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/haulmont/articles/758780/> (дата обращения: 24.11.2024).

А.И. Некрасов, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СКАНИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Разработка системы распознавания и классификации документов на основе сканированных изображений актуальна в контексте увеличения объемов цифровой информации и необходимости автоматизации документооборота. Современные предприятия сталкиваются с задачей обработки большого количества различных документов, таких как счета, договора, накладные, справки и другие типы текстовых файлов. Использование технологий OCR (Optical Character Recognition) и машинного обучения позволяет не только извлекать текстовую информацию из изображений, но и автоматически классифицировать документы, упрощая их хранение, поиск и последующее использование [1].

Система включает этапы обработки: предварительная обработка изображений (удаление шума, коррекция искажений), извлечение текстовых данных и их структурирование. Для классификации предлагается использовать алгоритмы глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (CNN), обученные на размеченных данных. Дополнительно внедряются методы обработки естественного языка (NLP), которые помогают анализировать текстовое содержимое для повышения точности классификации [2].

Особое внимание уделяется соответствию требованиям законодательства в области защиты персональных данных (например, ФЗ-152), что подразумевает локальную обработку данных на сервере заказчика. Это исключает передачу конфиденциальной информации в облачные сервисы, снижая риски утечки данных.

Ожидается, что внедрение такой системы позволит автоматизировать обработку больших массивов документов, повысить точность извлечения данных и снизить затраты на ручную обработку.

Литература

1. **Дементьев, В.Е., Киреев, С.Х.** Выбор алгоритмов машинного обучения для классификации текстовых документов // *Техника средств связи*. 2022. С. 22–50.
2. **Иномов, Б.Б., Тропманн-Фрик, М.** Классификация научных текстов по специальностям методами машинного обучения. Новосибирск: Вестник НГУ, 2022.

А.И. Некрасов, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАЗНАЧЕНИЯ СОБЕСЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ РАСПИСАНИЯ РЕКРУТЕРОВ

Процесс согласования времени для собеседований с кандидатами часто занимает значительное время и требует учета множества факторов, таких как загрузка рекрутера, приоритетные задачи и временные ограничения рабочего графика. Для оптимизации этого процесса предлагается разработка подсистемы, которая автоматически анализирует расписание рекрутера и предлагает ему оптимальные временные слоты для проведения собеседований. Система не взаимодействует с кандидатом напрямую, оставляя финальное согласование времени за рекрутером [1].

Реализация подсистемы базируется на интеграции с календарными сервисами, такими как Яндекс.Календарь или Mail.ru Календарь, через их API. Алгоритм системы, разработанный на основе языка программирования Python и библиотек для работы с временными данными, анализирует занятость рекрутера, выделяя подходящие интервалы с учетом длительности встреч, времени подготовки и других заданных ограничений.

Система позволяет рекрутеру выбирать наиболее подходящий временной слот из предложенных вариантов, после чего осуществляется ручное согласование времени с кандидатом. Полученные результаты сохраняются в реляционной базе данных PostgreSQL [2].

Внедрение такой подсистемы минимизирует временные затраты на планирование собеседований, снижает вероятность ошибок и повышает общую эффективность работы рекрутера.

Литература

1. **Городецкая, А.М.** Автоматизированная система контроля процесса рекрутинга HR-отдела с аналитическим модулем определения подходящей кандидатуры // 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. 2021. С. 35–37.
2. **Гришина, А.А., Золотухина, Е.Б., Вишня, А.С., Нездольев, С.А.** Концепция автоматизированной системы по подбору персонала // Современные наукоемкие технологии. 2022. С. 445–449.

*Я.Е. Иванова, студ., В.К. Денисенко, соиск.;
рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

НЕОБХОДИМОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Информационные технологии для людей подавно перестали быть роскошью и стали неотъемлемой частью повседневной жизни. Для людей с ограниченными возможностями до сих пор большинство цифровых услуг недостаточно доступны, что создает значительные препятствия для социальной интеграции и самореализации.

Одна из ключевых задач адаптации информационных систем для людей с ограниченными возможностями — обеспечить равный доступ к образованию и профессиональной деятельности [1]. С помощью специализированных информационных систем люди с ограниченными возможностями могут проходить онлайн-курсы, получать новые навыки и повышать квалификацию, тем самым улучшая финансовое положение, например, беря на себя некоторые фриланс-задачи, не сталкиваясь с физическими ограничениями.

Доступность информационных систем для людей с ограниченными возможностями является мощным стимулом для уменьшения безработицы страны [2]. Оптимизируя веб-сайты и мобильные приложения для пользователей с особыми потребностями, компании могут расширить свою клиентскую базу, дать работу нуждающимся и создать положительный имидж. В результате все участники процесса (разработчики, предприниматели, правительственные учреждения и сами пользователи) получают выгоду от внедрения и пользования такими системами.

Таким образом, доступные цифровые решения позволяют обеспечивать полноценную интеграцию людей с инвалидностью в социальную, образовательную и экономическую жизнь, поэтому их следует рассматривать как основное право каждого на достижение равенства, независимости и самореализации.

Литература

1. Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» от 24.11.1995 №181-ФЗ // КонсультантПлюс URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559 (дата обращения: 05.12.2024).
2. В России утвердили концепцию повышения уровня занятости инвалидов от 04.09.2024 /// Ria URL: <https://ria.ru/20240904/zanyatost-1970547302.html> (дата обращения: 05.12.2024).

*А.Н. Кошелев студ., Н.Р. Жамейко студ., В.К. Денисенко соиск. ;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРА НА ОСНОВЕ ТРОИЧНОГО КОДА: ПОТЕНЦИАЛ, ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

В последние десятилетия мир компьютеров в значительной степени основывается на двоичном коде, где информация представляется с помощью двух состояний: 0 и 1. Однако троичный код, использующий три состояния — 0, 1 и 2 — предлагает альтернативный подход, который получил внимание исследователей. Рассмотрим потенциал троичной технологии, а также её преимущества и недостатки по сравнению с традиционными двоичными системами [1].

Тройная система кодирования открывает новые возможности для обработки и хранения данных. Повышение размерности в кодировании позволяет представлять больше информации на каждой ячейке памяти.

Троичные компьютеры, благодаря возможности хранения большего объема данных в меньшем пространстве, могут стать более энергоэффективными и экономичными. Это значительно повысит производительность при выполнении больших расчетов в научных исследованиях, искусственном интеллекте и больших данных.

Троичный код позволяет выиграть в следующих сегментах: увеличение плотности информации, энергоэффективность, лучшая производительность и упрощение ряда алгоритмов [2].

Однако существуют и сложности для реализации подобной технологии: сложность реализации, проблемы совместимости, недостаточная зрелость, нехватка образования и знаний [3].

Не смотря на внушительные возможности компьютера основанного на технологиях троичного кода, на данный момент существует ряд весомых сложностей для его изобретения и внедрения в обиход. Следствием чего, технология двоичного кода является подавляющей.

Литература

1. **Сообразим на троих. Троичные компьютеры** [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/723404/>
2. **Что, если современные компьютеры работали бы на троичной логике** [Электронный ресурс] https://skillbox.ru/media/code/chto_esli_sovremennye_kompyutery_rabotali_by_na_troichnoy_logike/
3. **Троичный процессор: утопия или технология будущего?** [Электронный ресурс] <https://skillbox.ru/media/code/troichnyy-protessor-utopiya-ili-tekhnologiya-budushchego/>

В.К. Денисенко, соиск., Я.Е. Иванова, студ.;
рук. Н.Ю. Румасова, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ОРКЕСТРАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МИКРОСЕРВИСАМИ: KUBERNETES VS. DOCKER SWARM

Оркестрация и управление микросервисами — это ключевые аспекты разработки и развертывания современных приложений. Kubernetes и Docker Swarm — два популярных инструмента для этой задачи [1].

Kubernetes отлично справляется с масштабированием приложений, позволяет автоматически увеличивать или уменьшать количество реплик контейнеров в зависимости от нагрузки, автоматически восстанавливает контейнеры в случае сбоя, следя за их состоянием и перезапуская их при необходимости. Система предоставляет мощные сетевые функции и поддерживает сложные сценарии развертывания, имеет богатую экосистему плагинов и расширений, позволяя интегрировать дополнительные функции и инструменты, предоставляет механизмы для управления конфигурациями.

К недостаткам можно отнести более крутую кривую обучения и требует значительных усилий для настройки и управления. Система может быть более ресурсоемким по сравнению с более легкими решениями, такими как Docker Swarm.

Docker Swarm проще в настройке и использовании. Он предоставляет интуитивно понятный интерфейс и команды, является встроенным решением для оркестрации в Docker. Система поддерживает Docker Compose, что позволяет легко определять и развертывать многоконтейнерные приложения.

Недостатки Docker Swarm являются менее развитые функции и возможности в области масштабирования и управления состоянием. Swarm может быть менее гибким в поддержке сложных сценариев развертывания и интеграции с другими инструментами и сервисами.

Выбор между Kubernetes и Docker Swarm зависит от потребностей проекта и команды. Kubernetes лучше подходит для крупных, сложных приложений, требующих высокой доступности, масштабируемости и гибкости. А Docker Swarm может быть хорошим выбором для небольших команд или проектов, где важна простота и скорость развертывания. В конечном счете, выбор инструмента должен основываться на конкретных требованиях проекта.

Литература

1. Docker Swarm VS Kubernetes — как бизнес выбирает оркестраторы // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/672666/> (дата обращения: 24.11.2024).

*А.Н. Кошелев, студ., Н.Р. Жамейко, студ., К.С. Баланев, асп.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ

Искусственный интеллект (ИИ) продолжает революционизировать множество сфер жизни, от бизнеса и медицины до образования и транспорта. В то время как потенциал ИИ кажется безграничным, его развитие также связано с серьезными вызовами, которые необходимо преодолеть, чтобы реализовать его возможности в полной мере.

Одним из ключевых направлений использования ИИ является автоматизация рутинных задач в сегменте экономики, торговли, технологических разработках, образовании, медицине, безопасности и маркетинге [1].

Несмотря на обширные возможности и быстрое развитие, ИИ сталкивается с рядом серьезных вопросов, которые требуют ответственного подхода для дальнейшего изучения подобных технологий. Подобными «слабыми» местами данных возможностей является безопасность хранения данных пользователей и не допущения в будущем подавления идей и понимания людей [3]. Кроме того, автоматизация может привести к значительным изменениям на рынке труда. Многие профессии рискуют исчезнуть [2].

Будущее искусственного интеллекта открывает невероятные возможности и перспективы. Однако, чтобы эти возможности стали реальностью, необходимо преодолеть ряд трудностей, связанных с этикой, безопасностью и социальностью людей. Только комплексный подход к развитию ИИ, включающий сотрудничество между технологами, политиками и обществом, позволит максимально эффективно использовать потенциал искусственного интеллекта и направить его на благо человечества.

Литература

1. **Сферы применения искусственного интеллекта: от медицины до сельского хозяйства** [Электронный ресурс] <https://gb.ru/blog/sfery-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta/>.
2. **Влияние автоматизации и ИИ на рынок труда** [Электронный ресурс] <https://sky.pro/wiki/profession/vliyanie-avtomatizacii-i-ii-na-rynok-truda/>.
3. **Т.Л. Партыка, И.И. Попов** Информационная безопасность. — 3-е изд. — Москва: Форум, 2010. — 433 с.

*А.Н. Кошелев, студ., Н.Р. Жамейко, студ., В.К. Денисенко, соиск.;
рук. К.С. Баланев, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

AI И ТВОРЧЕСТВО: ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИСКУССТВА

С возникновением искусственного интеллекта (AI) на переднем плане научных исследований и технологических новшеств, вопрос о его влиянии на творчество становится все более актуальным. Искусственный интеллект не только изменяет наше восприятие технологий, но и становится мощным инструментом в процессе творчества, вдохновляя художников, музыкантов и писателей на создание новых произведений [1].

AI создает визуальное искусство с помощью генеративного моделирования. В музыке системы, такие как OpenAI MuseNet и AIVA, генерируют оригинальные произведения, сочетая жанры и стили, что поднимает вопросы об авторстве: может ли музыка, созданная машиной, считаться «искусством»? В литературе AI помогает авторам генерировать идеи и писать тексты. Модель GPT-3 от OpenAI создает тексты, трудно отличимые от человеческих. Однако вопрос о «творчестве» остается актуальным: могут ли алгоритмически созданные тексты считаться произведениями искусства без человеческого намерения?

С развитием технологий возникают этические вопросы о роли человека в творчестве, когда AI может выполнять значительную часть работы. Может ли технология затмить художественные практики? Ответы не ясны, но подчеркивают взаимодействие между искусственным интеллектом и человеческим творчеством. AI не уничтожает творчество, а переосмысляет его, открывая новые формы самовыражения. В будущем взаимодействие AI и творчества углубится, поднимая вопросы о роли технологий в искусстве и самом понятии «творчество».

Литература

1. **Искусственный интеллект в искусстве** [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_интеллект_в_искусстве
2. **Вопросы искусственного интеллекта и человеческого творчества: могут ли машины действительно быть креативными?** [Электронный ресурс] <https://www.sciencehunter.net/Blog/story/voprosy-iskusstvennogo-intellekta-i-chelovecheskogo-tvorchestva-mogut-li-mashiny-deistvitelno-byt-kreativnymi>

*К.С. Баланев, асп., Е.А. Дубровская, студ.;
рук. Ю.С. Бехтин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ

Современный сетевой компьютерный трафик характеризуется большим количеством транзакций и крайне нерегулярным, «взрывным» поведением. Обычные методы визуализации не позволяют отражать хаотическую природу трафика и не помогают провайдерам и системным администраторам проводить осмысленную политику по поддержанию стабильности работы компьютерных сетей. Однако, несмотря на кажущуюся хаотичность, в сетевом трафике присутствуют скрытые последовательности, обусловленные его самоподобной и фрактальной структурой.

Для выявления скрытых последовательностей применяются методы вейвлет-преобразования совместно с регрессионным анализом. Вейвлет-преобразование позволяет разложить сетевой трафик на компоненты различных частотных диапазонов, что дает возможность анализировать его свойства одновременно во временной и частотной областях. Регрессионный анализ, применяемый к детальным коэффициентам вейвлет-преобразования, способствует выявлению сглаженных трендов в поведении трафика.

Особенностью данного подхода является изучение и учет низкочастотных составляющих трафика, которые в большинстве случаев игнорируются, но сохраняются при масштабировании и могут быть восстановлены. Применение такого подхода к статистическим данным сетевого трафика показало, что он превосходит метод ARIMA и модель LSTM по наглядности и простоте, позволяя выявлять имеющиеся и невидимые человеку скрытые последовательности в его поведении.

Использование вейвлет-преобразования в сочетании с регрессионным анализом позволяет обнаруживать скрытые последовательности в сетевом компьютерном трафике. Выявленные скрытые последовательности планируется использовать для дальнейшей стабилизации сетевого трафика, что позволит улучшить качество обслуживания путем рационального распределения сетевых ресурсов, что повысит стабильность работы компьютерных сетей.

Литература

1. **Bekhtin, Y.S., Balanев K.S.** Simulation Modeling Network Traffic Behavior Using Regression Analysis in Wavelet Domain // 6th International Youth Conference on Radio Electronics, REEPE. — Moscow: 2024. — pp. 1–6.

К.С. Баланев, асп., А.В. Павлович, студ.;
рук. Ю.С. Бехтин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНОГО СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ПОМОЩЬЮ БАЙЕСОВСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ

Современный сетевой трафик нередко демонстрирует пульсирующее поведение с резкими изменениями интенсивности передачи данных. Подобные пульсации могут быть вызваны массовыми пользовательскими запросами, атаками типа DDoS или другими внезапными событиями. Преобладающие исследования не рассматривают трафик как импульсную последовательность, что оставляет этот аспект недостаточно изученным в контексте анализа и последующей стабилизации трафика.

Для стабилизации сетевого трафика предлагается использовать подход, который включает выявление скрытых закономерностей с помощью метода, основанного на вейвлет-преобразовании и регрессионном анализе [1]. После определения трендов планируется их стабилизация с применением т.н. вероятностного реле [2], разработанного на основе байесовского подхода и теории Марковских процессов. Вероятностное реле рассчитывает коэффициенты, числовые значения которых сопоставляются с соответствующими необходимыми техническими мерами для стабилизации сетевого трафика. В случае превышения интенсивности трафика допустимого уровня нагрузки для конкретной вычислительной сети, будут задействованы дополнительные вычислительные мощности, как, например, расширение пропускной способности каналов связи, активация дополнительных серверов или виртуальных машин, а также применение механизмов балансировки нагрузки. С другой стороны, значительное снижение интенсивности трафика позволяет оптимизировать использование ресурсов сети путем отключения избыточных серверов, перехода сетевого оборудования в «экономный» режим или перераспределения задач между системами с учетом актуальных требований. Такой механизм стабилизации обеспечит поддержание стабильности сетевого трафика в условиях его критической динамики.

Литература

1. **Bekhtin, Y.S., Balanев K.S.** Simulation Modeling Network Traffic Behavior Using Regression Analysis in Wavelet Domain // 6th International Youth Conference on Radio Electronics, REEPE. — Moscow: 2024. — pp. 1–6.
2. Патент (АС (СССР)) № 605317/ Оpubл. в Б.И., № 16, 1978. Активное вероятностное реле. Коршунов Ю.М., Симкин А.В., Филатов Ю.А.

Д.Д. Хлебнов, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ IT-ИНФРАСТРУКТУРОЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН В БИЗНЕСЕ

В современном мире применение технологий виртуализации является важнейшим аспектом в оптимизации использования ресурсов и гибкости IT-инфраструктуры, в частности использование аппаратной виртуализации для создания и применения виртуальных машин.

Представленное исследование акцентирует внимание на том, что в современных быстро изменяющихся условиях использование технологий виртуализации становится стратегической необходимостью для построения эффективной IT-инфраструктуры компании. Виртуальные машины позволяют проводить тестирование, разработку и эксперименты в изолированной области исключая опасность нежелательного влияния программного обеспечения на реальное оборудование. Использовать виртуализацию можно в различных сферах. Весьма полезны виртуальные машины преподавателям различных компьютерных курсов и дисциплин, а также разработчикам много платформенных программных продуктов [1].

Основными задачами использования виртуализации в бизнесе являются изменение подхода к управлению IT-инфраструктурой, оптимизация ресурсов, а также сокращение расходов. Применение виртуальных машин дает не только защиту систем при разработке ПО, но и другие важные преимущества. Облачная инфраструктура позволяет тестировать и оптимизировать программные продукты, сократить время их выхода на рынок. Перевод приложений в облако сокращает расходы и повышает надежность бизнес-процессов [2].

Объединяя все эти факторы, которые представлены в данном исследовании, становится очевидна важность применения технологий виртуализации для современных компаний. Интеграция таких технологий является стратегическим шагом для успешного развития компании, повышения эффективности ее работы и оптимизации использования ресурсов. Однако самое главное преимущество использования технологий виртуализации — готовность компании к изменениям в условиях неопределенности.

Литература

1. **Гультияев А.К.** Виртуальные машины: несколько компьютеров в одном / А.К. Гультияев. — Санкт-Петербург: Издательский дом «Питер», 2006. — 52 с. — ISBN: 5-469-01338-3
2. **Официальный сайт компании «Xelent» [Электронный ресурс].** URL: <https://www.xelent.ru/> (дата обращения: 28.11.2024).

Д.Д. Хлебнов, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРОЙ: ПРИМЕНЕНИЕ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ В БИЗНЕСЕ

Технологии виртуализации являются незаменимыми инструментами в построении оптимизированной и гибкой ИТ-инфраструктуры, а также для оптимизации использования ресурсов. В настоящее время использование контейнерной виртуализации является революционным решением в построении ИТ-инфраструктуры компании.

Представленное исследование показывает, что в современных быстро изменяющихся условиях использование контейнеризация является важным аспектом современного построения ИТ-инфраструктуры, предоставляя множество преимуществ. Контейнеры являются продолжением идеи виртуальных машин, которые предоставляют изолированную область для работы исключая опасность нежелательного влияния программного обеспечения на реальное оборудование. В чём отличие контейнеров от виртуальных машин? Разница в размерах. Виртуальная машина — это несколько гигабайт, а контейнер — это несколько мегабайт. Для многих задач, для многих простых программ это огромная экономия ресурсов [1].

Контейнеризация в бизнесе изменяет подход к управлению ИТ-инфраструктурой. Применение контейнеров дает важные преимущества такие как: сокращение использования дискового пространства, изолированность, а также отделение от основной инфраструктуры. Контейнеры — это способ стандартизации развертки приложения и отделения его от общей инфраструктуры. Разработчики создают приложение, упаковывают все зависимости и настройки в единый образ, который можно запускать на других системах, не беспокоясь, что приложение не запустится [2].

Технологии виртуализации играют ключевую роль для современных компаний, как показывает данное исследование. Их интеграция является стратегическим шагом, способствующим успешному развитию, повышению эффективности и оптимизации ресурсов. Главное преимущество использования технологий виртуализации — это способность компании адаптироваться к изменениям в условиях неопределенности.

Литература

1. **Арьков В.Ю.** Виртуализация и контейнеризация: Учебное пособие / В.Ю. Арьков. — [б. м.] Издательское решение, 2022. — 152 с. — ISBN 978-5-0059-3281-5
2. **Официальный сайт компании «Selectel» [Электронный ресурс].** URL: <https://selectel.ru/> (дата обращения: 29.11.2024).

*С.А. Михайлов, студ., М.Д. Окулов, студ., Т.Т.Н. Нгуен, студ.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В БИЗНЕСЕ

В современном мире объемы информации растут с каждым днем, компании сталкиваются с необходимостью принимать обоснованные и своевременные решения для успешного развития и конкурентоспособности на рынке. Одним из ключевых инструментов, призванных помочь в решении этой задачи, являются системы поддержки принятия решений (СППР).

Современные бизнес-реалии требуют от компаний не только оперативности, но и высокой точности в принятии решений. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений представляют собой мощные инструменты, способные обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые зависимости и прогнозировать результаты различных сценариев [1].

Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений в бизнесе включает в себя интеграцию передовых методов анализа данных и алгоритмов машинного обучения для обработки и интерпретации больших объемов информации. Основные компоненты таких систем — это сбор, хранение и анализ данных, позволяющие идентифицировать ключевые паттерны и тенденции. Эти системы позволяют бизнесу, используя прогностическую аналитику, лучше понимать потребности клиентов, оптимизировать запасы и планировать ресурсы.

Одним из ярких примеров применения СППР является маркетинг, где системы могут анализировать поведение потребителей для создания персонализированных предложений и улучшения клиентского опыта. Кроме того, интеллектуальные системы оказывают поддержку в области управления рисками, помогая предсказывать потенциальные угрозы и выработать стратегии их минимизации.

Однако, внедрение СППР требует продуманных стратегий, включая обучение персонала, разработку необходимых архитектур данных и выбор подходящих технологий. Эффективная реализация таких систем может значительно повысить конкурентоспособность бизнеса и ускорить процесс принятия решений, обеспечивая экономию времени и ресурсов.

Литература

1. **Шабанов Р.М., Микушин Н.А.**, Интеллектуальная информационная система поддержки принятия решений // Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019.

*С.А. Михайлов, студ., М.Д. Окулов, студ., Т.Т.Н. Нгуен, студ.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

В условиях растущего сознания о необходимости экологической ответственности и энергосбережении, эффективное управление энергопотреблением становится ключевым аспектом. Традиционные системы управления энергопотреблением могут быть неэффективными и неадаптивными к изменяющимся условиям. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением предлагают новые подходы и возможности для оптимизации потребления энергии и снижения негативного влияния на окружающую среду [1].

Интеллектуальные системы управления энергопотреблением, основанные на анализе больших данных, представляют собой передовые решения, направленные на оптимизацию процессов энергопотребления с использованием современных технологий анализа данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Эти системы способны обрабатывать значительные объемы информации, поступающей от различных источников, таких как умные электрические сети, датчики и устройства Интернета вещей. Ключевыми компонентами таких систем являются алгоритмы обработки данных, которые позволяют выявлять закономерности в потреблении энергии, предсказывать пиковые нагрузки и оптимизировать распределение ресурсов. Интеграция больших данных в управление энергопотреблением способствует повышению эффективности, снижению затрат и уменьшению воздействия на окружающую среду. Например, интеллектуальные системы могут автоматически регулировать потребление энергии в зависимости от времени суток, уровня нагрузки и предпочтений пользователей, тем самым создавая адаптивную и устойчивую модель энерго-регулирования. Такие технологии уже активно используются в промышленных и жилых секторах, демонстрируя положительное влияние на развитие устойчивой энергетики и повышение уровня жизни.

В заключение можно сказать о высоких перспективах дальнейшего развития технологий управления энергопотреблением на основе больших данных и их влияние на устойчивое развитие и энергетику будущего.

Литература

1. **Мигранов М.М., Мельников А.В.** Большие данные в электроэнергетике. — Челябинск: Челябинский государственный университет, 2017.

В.С. Ходжаев, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КОНСОЛИДАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В БИЗНЕСА

Современный рынок маркетплейсов в России находится в стадии активного роста и остается привлекательным для новых участников благодаря расширяющейся аудитории и снижению барьеров для входа. Однако их компетенция часто не соответствует уровню необходимому для успешного ведения торговли. В этом контексте аналитические решения, способные обрабатывать и интерпретировать данные, предоставляемые маркетплейсами, становятся ключевым инструментом принятия решений для продавцов по формированию дальнейшей стратегии их деятельности. Консолидация данных из разных источников позволяет принимать оперативные экономические и управленческие решения, обеспечивающие эффективность работы и устойчивость бизнеса.

Исследование указывает, что различные форматы данных, предоставляемые продавцам разными маркетплейсами, создают сложности в консолидации информации, что затрудняет её дальнейшую обработку и анализ для планирования и оптимизации логистических процессов. [3] Интеграция аналитических систем помогает продавцам оперативно выявлять тренды, прогнозировать спрос и управлять ценами. Это не только снижает затраты, но и способствует повышению конкурентоспособности бизнеса [1].

Использование аналитических систем, способных агрегировать данные из маркетплейсов, решает множество задач. Такие системы обеспечивают продавцов ключевой информацией, включая актуальную статистику продаж, данные о ценах конкурентов, прогнозы спроса и тренды рынка. Это не только ускоряет процесс принятия решений, но и способствует снижению затрат за счет оптимизации запасов и улучшения планирования [2].

Объединяя ключевые аспекты проблемы, можно сказать, что аналитические решения являются стратегической необходимостью для современных продавцов. Они обеспечивают устойчивость бизнеса и создают условия для долгосрочного развития в условиях динамичного рынка.

Литература

1. **Котлер, Ф.** Маркетинг 4.0: переход к цифровому / Ф. Котлер, Х. Картаия, И. Сетиаван. — М.: Альпина Паблишер, 2019. — 248 с. — ISBN 978-5-9614-1945-8.
2. **Официальный сайт аналитической платформы SellerBoard [Электронный ресурс].** URL: <https://sellerboard.com/> (дата обращения: 23.11.2024).
3. **Воронин, Д. В.** Современные подходы к автоматизации процессов в электронной коммерции / Д. В. Воронин, И. В. Жуков. — СПб.: Питер, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-4461-1622-9.

*Д.А. Сперанский, А.В. Хунгуреев, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРСИНГА

Парсинг (web scraping) представляет собой процесс автоматизированного извлечения данных с веб-сайтов. Сегодня он занимает важное место в цифровой экономике, помогая бизнесу и исследователям быстро получать структурированную информацию для анализа.

Парсинг широко применяется в различных сферах: так, например в маркетинговых исследованиях он используется бизнесом для анализа ценовой политики, мониторинга ассортимента конкурентов, а также сбора отзывов и пользовательских оценок, в электронной коммерции парсинг позволяет изучать маркетплейсы, такие как Wildberries и Ozon, с целью анализа продаж, прогнозирования спроса и оптимизации ассортимента, для академических исследований также активно используют парсинг для обработки больших объемов текстов, анализа медийного контента и построения языковых моделей.

Современные инструменты парсинга, такие как BeautifulSoup, Scrapy, Selenium и Playwright, позволяют не только извлекать данные, но и взаимодействовать с динамическими сайтами. Асинхронные библиотеки, такие как aiohttp, ускоряют обработку больших объемов информации. Особое внимание уделяется обходу антибот-систем, что становится актуальным ввиду растущего количества ограничений со стороны сайтов.

Вопросы легальности парсинга активно обсуждаются. В России практика парсинга регулируется законами о защите информации, авторских правах и конфиденциальности данных. Законные ограничения накладываются на извлечение личных данных и коммерчески значимой информации, что требует от разработчиков внимательного подхода к соблюдению законодательства.

Литература

1. Парсинг — это законно? // Хабр URL: <https://habr.com/ru/articles/545818/> (дата обращения: 21.11.2024).
2. Как выбрать решение для парсинга сайтов: классификация и большой обзор программ, сервисов и фреймворков // Хабр URL: <https://habr.com/ru/articles/521646/> (дата обращения: 21.11.2024).

*А.В. Хунгуреев, Д.С. Сперанский, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОФОРМЛЕНИЯ ВКР

В современном образовательном процессе предъявляются строгие требования к оформлению выпускных квалификационных работ (ВКР) студентов. Одной из основных проблем является сложность соблюдения стандартов ГОСТ, что зачастую приводит к увеличению временных затрат и снижению качества оформления. Данная проблема особенно актуальна для студентов, не имеющих достаточного опыта работы с текстовыми редакторами и инструментами разметки.

Целью исследования является разработка системы, позволяющей автоматизировать процесс подготовки ВКР в соответствии с требованиями ГОСТ на основе языка разметки LaTeX. Использование LaTeX обеспечивает высокую точность форматирования, поддержку сложных математических формул, таблиц и иллюстраций, а также возможность создания единых шаблонов, соответствующих установленным стандартам.

В рамках работы были определены основные требования к системе, включая гибкость настройки под индивидуальные стандарты учебных заведений, автоматическое создание оглавления, списка литературы и других структурных элементов ВКР. Разработанный прототип включает в себя готовые шаблоны для титульного листа, содержания, основных разделов работы и списка литературы, а также предоставляет возможность адаптации под различные учебные программы.

Результаты разработки позволяют существенно сократить временные затраты на оформление ВКР, минимизировать вероятность ошибок, связанных с несоответствием стандартам, и повысить общее качество оформления документов. Предлагаемая система может быть интегрирована в образовательный процесс для упрощения работы студентов и преподавателей.

Литература

1. **Кнут Д.Э.** Искусство компьютерной верстки. М.: Вильямс, 2004.
2. **Лампорт Л.** LaTeX: система подготовки документов. Руководство пользователя. 2-е изд. М.: Бином, 2006.
3. **Кузнецов А.В.** Основы LATEX. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2021.

*А.В. Хунгуреев, Д.С. Сперанский, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОФОРМЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ

Разработка системы автоматизированного оформления документов на базе LaTeX открывает широкие перспективы её применения помимо выпускных квалификационных работ (ВКР). Одной из ключевых возможностей является адаптация шаблонов для подготовки различных типов документов, таких как курсовые работы, отчёты о научно-исследовательской деятельности, статьи и публикации, оформляемые в соответствии с международными стандартами, включая APA и IEEE.

Предложенная система может быть интегрирована в учебный процесс для стандартизации оформления работ студентов, минимизации ошибок и сокращения временных затрат. Использование единых шаблонов позволит преподавателям и студентам сосредоточиться на содержательной части работы, оставляя технические аспекты оформления на автоматизированную систему.

Внедрение таких решений также может быть полезным для научных учреждений, где требуется создание многочисленных документов с одинаковыми требованиями к оформлению. Например, отчёты по грантам, заявки на конференции или публикации в журналах.

Дополнительно, система может быть модифицирована для поддержки стандартов других стран, что обеспечит её применение в международной образовательной и научной среде. Гибкость настройки LaTeX позволит адаптировать шаблоны к специфическим требованиям каждого пользователя.

Реализация данной системы способствует повышению эффективности работы с документами, улучшает их качество и делает процесс подготовки документов более технологически совершенным.

Литература

1. **Кузнецов А.В.** Основы LATEX. Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2021.

*Д.А. Сперанский, А.В. Хунгуреев, студенты;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПАРСИНГА ДАННЫХ

Парсинг, автоматизированный сбор данных, или web scraping, стал инструментом для анализа информации в современном бизнесе. Однако его использование вызывает множество этических вопросов, связанных с защитой интеллектуальной собственности, конфиденциальностью и соблюдением правовых норм.

Одна из основных проблем заключается в том, что сбор данных из публичных источников, хотя и может быть законным, зачастую обходится без учета норм конфиденциальности, таких как GDPR. Многие компании внедряют меры защиты, включая пользовательские соглашения и технические барьеры (например, CAPTCHA), чтобы предотвратить несанкционированное использование данных. Как показывает практика, утечка данных или их несанкционированное использование наносит репутационный и финансовый ущерб компаниям и подрывает доверие потребителей.

Однако, интеллектуальная собственность и авторские права также подвергаются риску. Даже контент, находящийся в открытом доступе, часто защищен законами. Данная тема становится особенно актуальной, когда компании используют такие данные для коммерческой выгоды, например, для анализа пользовательского поведения или создания целевых рекламных кампаний.

Этические аспекты автоматизированного сбора данных предполагают обязательное соблюдение принципов, таких как открытость процессов и справедливое отношение к интересам всех сторон. Компании, которые игнорируют эти принципы в погоне за прибылью, рискуют потерять доверие пользователей. Например, анализ больших данных в социальных сетях без явного согласия пользователей может быть воспринят как вторжение в личное пространство.

Таким образом, автоматизированный сбор данных представляет собой мощный инструмент, но его использование должно быть основано на балансе между коммерческими интересами и уважением к интеллектуальной собственности, законодательству и этическим нормам.

Литература

1. Парсинг — это законно? // Хабр URL: <https://habr.com/ru/articles/545818/> (дата обращения: 24.11.2024).
2. Парсинг сайтов: как с точки зрения закона выглядит один из самых полезных ИТ-инструментов по миру (и в России)? // Хабр URL: <https://habr.com/ru/articles/340302/> (дата обращения: 24.11.2024).

*М.Д. Окулов, студ., С.А. Михайлов студ., Т.Т.Н. Нгуен, студ.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЕКТ В БИЗНЕСЕ: НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ И ТЕНДЕНЦИИ БУДУЩЕГО

В ближайшем будущем можно ожидать того, что технологии искусственного интеллекта и машинного обучения будут продолжать развиваться, становясь все более доступными для малого и среднего бизнеса. В последние годы компании различных секторов активно внедряют ИИ-технологии, что позволяет им оптимизировать процессы, улучшать качество обслуживания клиентов и принимать более обоснованные решения на основе анализа больших данных. В связи с быстрым развитием технологий и их интеграцией в производственные и управленческие процессы, важно рассмотреть ключевые тенденции использования ИИ в бизнесе и его влияние на будущее.

Искусственный интеллект приведет к автоматизации многих рутинных процессов компаний, что в целом будет влиять на качество клиентского обслуживания. Кроме того, ИИ помогает в предсказательной аналитике, что позволяет бизнесу заранее выявлять тренды и адаптироваться к изменениям рынка. Вдобавок, использование ИИ для персонализации услуг и продуктов становится стандартом, что способствует более глубокому вовлечению клиентов и, как следствие, увеличению их лояльности. Но с новыми возможностями приходят и вызовы, такие как необходимость защиты данных и этические аспекты использования ИИ.

Таким образом, искусственный интеллект открывает перед бизнесом новые горизонты, предоставляя инструменты для оптимизации процессов и улучшения взаимодействия с клиентами. С каждым годом растет влияние искусственного интеллекта и технологий машинного обучения на различные сферы деятельности. Несмотря на возможные сложности внедрения, применение систем машинного обучения будет важным фактором для бизнеса, который позволит эффективно использовать свои ресурсы и занимать устойчивые позиции на рынке.

Литература

1. **Макаров И.Д., Панов А.В.**, Искусственный интеллект: перспективы развитие // Москва, Московский институт радиотехники, электроники и автоматики, 04.05.2022.

*Л.Т. Казарян, Е.А. Родионов, студенты;
Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ

Цифровые технологии играют ключевую роль в трансформации управления, обеспечивая автоматизацию процессов, повышение эффективности работы с персоналом и рост конкурентоспособности организаций. Основными направлениями их применения являются роботизация, внедрение искусственного интеллекта, использование аналитических программ и digital-инструментов для подбора и обучения сотрудников.

Основные аспекты использования цифровых технологий в управлении:

- автоматизация и роботизация процессов, так как благодаря использованию цифровых технологий сокращаются временные затраты и повышается точность выполнения задач, таких как рекрутинг, управление клиентской базой и анализ данных;
- индивидуальный подход в управлении персоналом, благодаря digital-инструментам происходит персонализация подхода к сотрудникам, поддерживая их профессиональное развитие и удовлетворение индивидуальных потребностей;
- укрепление конкурентоспособности, так как компании, внедряющие современные технологии, такие как голосовые помощники, системы обратной связи и HR-скоринг, занимают лидирующие позиции в своих отраслях благодаря повышению качества услуг и улучшению внутренних процессов.
- развитие цифровой грамотности, так как сотрудники с высокими цифровыми навыками становятся ключевыми участниками процессов адаптации к стремительно меняющейся цифровой среде, что требует постоянного повышения квалификации.

Использование цифровых технологий в управлении не только улучшает операционную деятельность компаний, но и способствует созданию инновационной среды, где персонал играет центральную роль. Для достижения успеха организациям необходимо не только внедрять передовые цифровые инструменты, но и инвестировать в обучение сотрудников и грамотную формулировку требований к информационным технологиям, чтобы избежать неоправданных затрат и повысить эффективность бизнеса.

Литература

1. **Баланов, А.Н.** Цифровое понимание. Создание, влияние и будущее технологий // Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 452 с.

*Т.С. Юлдошев, студ.; О.В. Жнякин, ст. преп.;
рук. К.С. Баланев, асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА ПО SQL

Владение языком структурированных запросов SQL — один из самых ключевых и востребованных компетенций в сфере ИТ. Умение писать запросы к базам данных ожидают от широкого круга специалистов — разработчиков, бизнес- и системных аналитиков, тестировщиков, аналитиков данных и т.д. В связи с этим крайне важно, чтобы студенты ИТ-направлений качественно осваивали этот язык в рамках учебного процесса.

В докладе рассматриваются процесс и принципы разработки интерактивного онлайн-тренажера по SQL на базе бесплатных open-source технологий, а именно — ЯП Python и СУБД Postgres, с целью внедрения в учебный процесс и замены (импортозамещения) существующей системы — TestSQL на базе Oracle APEX (О.В. Жнякин, ст. преп. каф. БИТ).

Проводится анализ: текущего решения, его недостатков, послуживших поводом для разработки нового решения, и достоинств нового решения в сравнении с ним. Также рассматриваются для сравнения другие, доступные в интернете, популярные решения: платформа онлайн-курсов stepik.org, где можно составить авторский курс с задачами типа SQL Challenge; веб-сайт sql-ex.ru; веб-сайт sql-academy.org.

Рассматриваются и анализируются способы автоматической проверки решения задач различных типов по SQL с точки зрения сложности реализации.

В результате ожидается, что разработанная система заменит старую, повысит качество учебного процесса по дисциплинам «Базы данных» и «Введение в SQL», где планируется использование системы. Таким образом, это внесет вклад к повышению качества образования будущих ИТ-специалистов, предоставляя им возможность овладеть языком SQL на высоком уровне.

Литература

1. **Рогов Е.В.** PostgreSQL 16 изнутри. — М.: ДМК Пресс, 2024. — 664 с.
2. **Документация к PostgreSQL [Электронный ресурс]**. — URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/> (дата обращения 08.12.2024).

*С.А. Михайлов, студ., М.Д. Окулов, студ., Т.Т.Н. Нгуен, студ.;
рук. В.К. Денисенко, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С СИСТЕМАМИ ПОДДРЕЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В условиях стремительных изменений на рынке и растущей сложности бизнес-процессов, организации сталкиваются с необходимостью принятия обоснованных решений, основанных на анализе большого объема данных. Объединение имитационного моделирования с системами поддержки принятия решений (СППР) предлагает новые возможности для повышения точности принимаемых решений. Имитационное моделирование позволяет создать репрезентативные модели бизнес-процессов, которые могут быть использованы для анализа различных сценариев и их последствий [1].

Совмещение имитационного моделирования с системами поддержки принятия решений значительно улучшает аналитические возможности. Менеджеры получают не просто данные, а понятные визуализации сценариев, которые помогают лучше разобраться в сложных процессах. С помощью имитационных моделей компании могут предсказывать результаты разных стратегий, оценивать риски и находить лучшие способы достижения своих целей. Программы, такие как AnyLogic и Simul8, легко адаптируются к другим системам, что делает процесс принятия решений более простым и удобным. Результаты имитации можно использовать для создания интерактивных отчетов и панелей мониторинга.

Сочетание имитационного моделирования и систем поддержки принятия решений открывает новые возможности для бизнеса. Данный процесс помогает лучше справиться с неопределённостью и достигать своих целей. Подобные технологии улучшают анализ и планирование, а также делают организации более гибкими в ответ на внешние изменения. В будущем можно ожидать, что эти технологии будут продолжать развиваться и улучшать процесс принятия управленческих решений.

Литература

1. **Натробина О.В., Рожкова А.Н.** Анализ эффективности бизнес-процессов с использованием имитационного моделирования. — Калуга: Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 2024.

Е.А. Дерябин, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ТУРБО Х ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОТРУДНИКОВ ИТ-КОМПАНИЙ

Современные ИТ-компании находятся в постоянном поиске эффективных решений для оценки и повышения производительности сотрудников. Одним из актуальных инструментов является информационная система на платформе ТУРБО Х, предоставляющая возможность использования карт КРІ и метода анкетирования 360. Эти технологии создают комплексную основу для анализа профессиональных качеств, выполнения рабочих задач и определения зон для развития персонала [1].

Внедрение карт КРІ в системе ТУРБО Х связывает результаты сотрудников с целями компании, обеспечивая прозрачность оценки и выявление точек оптимизации [1]. Метод анкетирования 360 формирует всестороннюю обратную связь, включая мнения коллег, руководства и клиентов, превращая систему в инструмент развития и элемент корпоративной культуры [3].

Успешное внедрение информационных систем для оценки эффективности сопряжено с вызовами, включая подготовку данных, обучение сотрудников работе с системой и снижение субъективности в оценках. Гибкость платформы ТУРБО Х позволяет адаптировать ее под нужды компаний, что помогает преодолеть эти трудности [2]. Примеры успешной интеграции показывают, что такие решения не только повышают производительность, но и укрепляют доверие в коллективе [1].

Информационные системы для управления эффективностью становятся важным элементом цифровой трансформации ИТ-компаний. Использование карт КРІ и анкетирования 360 через платформу ТУРБО Х — это не просто технологическое новшество, а стратегический инструмент для развития сотрудников и бизнеса в целом [2, 3].

Литература

1. **Гутман, Л.А.** Управление эффективностью персонала: современные подходы и инструменты / Л.А. Гутман, И.В. Лапшин. — Москва: Альфа Пресс, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-00142-334-7.
2. **Официальный сайт платформы ТУРБО Х** [Электронный ресурс]. URL: <https://turbosolution.ru/> (дата обращения: 23.11.2024).
3. **Ковалев, Д.В.** Оценка персонала: теория и практика использования методов обратной связи / Д.В. Ковалев. — СПб.: Питер, 2020. — 208 с. — ISBN 978-5-4461-1392-1.

А.Д. Дорошев, студ.; рук. Д.Э. Борцова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ПОДКЛЮЧЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ «ДОКУМЕНТООБОРОТ» НА ПЛАТФОРМЕ «1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.3» ДЛЯ КОМПАНИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ИГРОВЫХ ПРОДУКТОВ

Современные компании по разработке игровых продуктов сталкиваются с необходимостью систематизации внутренних процессов и эффективного управления документами. Одним из перспективных решений является внедрение информационной системы на платформе «1С: Предприятие 8.3» с подключением автоматизированного модуля «Документооборот».

Целью данной работы является создание комплексной информационной системы, направленной на автоматизацию процессов обработки, хранения и обмена документами в компании, разрабатывающей игры для различных платформ. Автоматизированный модуль «Документооборот» предоставляет широкий функционал для контроля и оптимизации документооборота на всех этапах его жизненного цикла.

Основные задачи исследования:

1. Анализ текущего состояния системы документооборота и выявление проблем, связанных с управлением документами.
2. Проектирование и разработка информационной системы с использованием платформы «1С: Предприятие 8.3».
3. Интеграция и тестирование автоматизированного модуля «Документооборот» для обеспечения прозрачности и контроля процессов.

Результаты работы показывают, что внедрение данного решения позволяет существенно сократить время обработки документов, минимизировать ошибки и повысить производительность сотрудников.

Таким образом, разработка информационной системы с подключением модуля «Документооборот» не только оптимизирует бизнес-процессы, но и создает основу для дальнейшего масштабирования компании и повышения ее конкурентоспособности на рынке игровых продуктов.

Литература

1. **Зайцев, В.А.** Автоматизация документооборота на платформе 1С: Предприятие 8.3: Практическое руководство / В.А. Зайцев. — Москва: ДМК Пресс, 2021. — 240 с. — ISBN 978-5-97060-471-3.
2. **Официальный сайт компании «1С»** [Электронный ресурс]. URL: <https://1c.ru/> (дата обращения: 18.06.2024).

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 22

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Electromechanical energy converters

Председатель секции: к.т.н., доцент Ширинский Сергей Владимирович

Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Антон Олегович

К.Б. Болеки, студ.; рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СТРОЯЩЕЙСЯ ГЭС В ДРК

Демократическая Республика Конго (ДРК) обладает значительными энергетическими ресурсами, включая гидроэнергетику и возобновляемые источники энергии (энергия солнца и ветра). Гидроэнергетика в ДРК играет ключевую роль в энергетическом балансе страны. Страна обладает одним из самых больших гидроресурсов в мире благодаря реке Конго и ее притокам. Потенциал гидроэнергии страны оценивается в 100 000 МВт, что делает ее одним из самых перспективных регионов для развития гидроэлектрической генерации.

В настоящее время в стадии проработки находится несколько проектов строительства плотин, из которых самым перспективным выглядит проект гидроэлектростанции Мбамба. Выбор наиболее подходящего местоположения для строительства гидроэлектростанции должен позволить обеспечивать электроэнергией в основном населенные пункты и города Киквит, Кинганду, Будунгу, Лусанга, Квенге и Феши. Для этого проекта уже проведено предварительное технико-экономическое обоснование строительства. Гидроэлектростанцию для обустройства Мбамбы планируется возвести на реке Йембеши. Река Йембеши впадает в реку Квенге, приток реки Квилу. Он течет с юга на север и проходит через территории Феши, Маси-Манимба и Гунгу. При расчетной пропускной способности оборудования 30,0 м³/с и чистом падении 116,6 м установленная мощность электростанции оценивается в 31 МВт. Таким образом, строящаяся электростанция может использовать три гидрогенератора мощностью 13,75 МВА (активная мощность 11 МВт) аналогично ВГС 525/84-32 [1]. Напряжение 10,5 кВ, частота вращения 187,5 об/мин.

Литература

1. **Алюнов, А.Н.** Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения / А.Н. Алюнов. — Режим доступа: <https://online-electric.ru/dbase/gydrogen.php>

*Ф.А. Крайнов, студ.,
рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для осуществления контроля за движением спутника в безвоздушном пространстве на начальном этапе проектирования требуется разделить модель космического аппарата (КА) на отдельные системы. Одна из них необходима для стабилизации и ориентации спутника относительно поверхности Земли. Система ориентации (СОС) состоит из датчиков и электродвигателей-маховиков. В отличие от других способов управления движением КА, уже более 100 коммерческих спутников оснащены электрическими двигателями для контроля положения и подъема на орбиту.

Успешное выполнение космической миссии требует проектирование электродвигателя, соответствующего заданным функциям и параметрам, с учётом ограничений по весу, размеру, климатическим условиям и т.д. При данных условиях была освоена серия исполнительных органов на основе управляемых бесконтактных двигателей постоянного тока. В этих двигателях управление вращающим моментом сводится к регулированию тока в якорной обмотке, из-за постоянства магнитного потока, создаваемого постоянными магнитами. Управление уровнем тока осуществляется регулятором, работающим в режиме широтно-импульсной модуляции по внешнему управляющему сигналу, с которым сравнивается ток в обмотке двигателя.

В работе проведён научный обзор конструктивного исполнения электродвигателя-маховика для дальнейшего повышения его высокоэффективности, высокой надёжности и долговечности. Рассмотрена математическая модель линейной маховичной системы.

На производстве электродвигатель-маховик должен соответствовать основным требованиям по его изготовлению: точность стабилизации, малые вес и габариты конструкции, малый пусковой момент, который является главным показателем безотказности устройства. При этом могут быть улучшены следующие параметры, такие как критический момент, диапазон регулирования скорости вращения, продолжительность включения маховика. Также ротор маховика должен иметь возможность к стабильному реверсивному вращению и последующему торможению.

Литература

1. **Васильев В.Н.**, «Системы ориентации космических аппаратов» // ФГУП «ВНИИЭМ», 2009.
2. **П. Фортескью, Г. Суайнерд, Д. Старк**, «Разработка систем космических аппаратов» / с англ. — М.: Альпина Паблишер, 2016.

Аунг Ко Мьинт Мьят, студ.;
рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЯГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДА

Сегодня, уделяя особое внимание снижению энергопотребления и воздействия на окружающую среду, электрические велосипеды рассматриваются как эффективное и экологически чистое решение транспортных проблем. Электрические велосипеды позволяют сокращать выбросы углекислого газа, обеспечивая чистый и устойчивый транспортный поток, способствуя сокращению заторов на дорогах, особенно в городских районах. Они также являются важным решением для населения по снижению затрат на топливо и улучшению качества воздуха.

Основными силовыми компонентами электрического велосипеда являются тяговый электродвигатель, аккумуляторная батарея и контроллер. Распространены два варианта расположения двигателя — в центре рамы возле педального узла или в ступице колеса, каждый из которых имеет свои преимущества [1, 2]. Двигатель, установленный в центре рамы, может быть более компактным, но приводит к повышенному износу цепи и требует специальной конструкции рамы. Двигатель в ступице колеса (редукторный или прямой привод) может быть легко интегрирован в существующую конструкцию, но имеет недостаточный момент для горных дорог.

В Мьянме, стране, где мотоциклы доминируют в качестве транспортного средства, электровелосипеды получили пока ограниченное распространение. Учитывая ежедневные пробеги и топографические особенности Мьянмы (холмистая местность) можно рекомендовать достаточно мощный двигатель порядка 1000 Вт в качестве тягового двигателя идеального электровелосипеда, который подойдет для обеспечения требуемой тяговитости при повседневном использовании. В таких странах как Мьянма, переход на электрический транспорт может снизить зависимость от импорта нефти.

Литература

1. Types of electric bike motors: a comprehensive guide [Электронный ресурс] // Really Good Bikes: Electric Bike Blog. URL: <https://reallygoodebikes.com/blogs/electric-bike-blog/electric-bike-motors?srsId=AfmBOoqT9ecidIknbhLExljUKjLe3rQOnAuHr-Hv1CKyS1xIToF1AvfG> (дата обращения — 04.11.2024)
2. **Dan Roe**. Everything You Want to Know About E-Bike Motors, Explained [Электронный ресурс] // Bicycling.com: Bikes & Gear > Electric Bikes. URL: <https://www.bicycling.com/bikes-gear/a25836248/electric-bike-motor/> (дата обращения — 04.11.2024).

*Д.А. Орлов, асп. (СПбГМУ, Санкт-Петербург), Д.С. Тарицын, асп.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МАГНИТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРИВОДОВ

В ряде устройств и машин, например, на тепловозах, требуется согласование частот вращения нескольких агрегатов, работающих от одного двигателя. Например, на тепловозах от дизельного двигателя приводятся компрессор, вентилятор охлаждения воды и масла, вентиляторы охлаждения тяговых электродвигателей, и каждый из агрегатов имеет собственную номинальную частоту вращения, а в иногда и свой закон ее регулирования. Привод осуществляется через систему гидравлических и механических передач, или от вспомогательных электродвигателей [1, 2].

В таких приводах наблюдается снижение надежности, а значит, и рост расходов при периодическом обслуживании и ремонте.

Для решения задачи согласования частот вращения и высокоэффективной передачи мощности при достижении высокой надежности предлагается использовать для связи дизельного двигателя и вспомогательных агрегатов бесконтактные магнитные передачи [3]. В настоящем исследовании рассматриваются вопросы оптимизации конструкции и выбора параметров таких передач для работы в стесненных габаритах и при нагрузках, свойственных вспомогательному оборудованию и системам привода тепловозов.

Литература

1. **Филонов С.П., Зиборов А.Е., Ренкунас В.В. и др.** Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М: Устройство и работа. — М.: Транспорт, 1986. — 288 с., ил., табл.
2. **Филонов С.П., Гибалов А.И., Никитин Е.А. и др.** Тепловоз 2ТЭ116. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1996. — 334 с.
3. **Молоканов О.Н.** Разработка оптимальной конструкции и методов расчета бесконтактной магнитной передачи. — М.: на правах рукописи, 2017. — 153 с.

Д.А. Хнычев, студ.; рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Асинхронные электродвигатели (АД) являются основой современного электропривода, широко используемого в различных отраслях. Особое значение имеет внедрение в промышленности частотно-регулируемых приводов (ЧРП).

Для корректной настройки системы управления АД и преобразователя частоты необходимо знать параметры эквивалентной схемы замещения (СЗ) АД. Определение параметров СЗ АД в настоящее время является актуальной задачей, поскольку в каталогах и справочниках для АД чаще всего отсутствуют параметры СЗ, что затрудняет разработку ЧРП.

Вопросам определения параметров СЗ АД посвящено значительное количество работ, например [1]. Однако, использование достаточно большого количества допущений, приводит к снижению точности определения параметров СЗ и снижает эффективность применения ЧРП.

Данная работа посвящена разработке методики определения параметров СЗ трехфазного АД с короткозамкнутым ротором на основе результатов экспериментов, проведенных с использованием численного моделирования.

В рамках исследования были проведены стандартные опыты в соответствии с методами испытаний по ГОСТ Р 53472-2009 [2], включая: опыт нагрузки, опыт реального ХХ, опыт КЗ и опыт с вынутым ротором. Эксперименты проводились с использованием конечно-элементного моделирования в среде *Ansys Maxwell*.

На основании полученных данных выполнен расчет параметров Т-образной СЗ АД. Проведенный анализ полученных расчетных значений параметров СЗ показал удовлетворительное совпадение с каталожными данными [3].

Литература

1. **Мошинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А.** Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным // *Электричество*. — 1998. — № 4. — С. 38–42.
2. **ГОСТ Р 53472-2009.** Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний.
3. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. — М.: Альянс, 2023. — 504 с., ил.

*М.А. Михайлов, асп., рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ТОРЦЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА

В настоящее время появляется все большее число электромеханических устройств, в которых конструктивно рационально использовать электрические машины с увеличенным отношением осевой высоты выходного вала к осевой длине. К таким электрическим машинам, например, относятся электрические машины торцевой конструкции.

Основным преимуществом машин торцевой конструкции по отношению к машинам классической конструкции является их удобство встраивания в электромеханическую систему. Наиболее яркими примерами могут стать мотор-колеса транспортных средств, различные электродвигатели бытовой техники, ветрогенераторы.

В отличие от машин с поперечным распространением магнитного потока (по отношению к выходному валу), в торцевых машинах магнитный поток пересекает воздушный зазор параллельно валу, что накладывает ряд ограничений на разрабатываемую конструкцию [1].

Существующие способы изготовления магнитопровода, как правило, собираемого из штампованных пакетов из листов электротехнической стали, неприменимы из-за параллельного направления распространения магнитного потока листам электротехнической стали в пакетах магнитопровода, что в свою очередь вызывает существенное увеличение потерь на вихревые токи [2].

В настоящей работе представлены результаты расчета электрической машины торцевой конструкции малой мощности, работающей в режиме генератора, а также рассмотрены вопросы технологии изготовления. Проведены испытания изготовленных опытных машин и определены характеристики холостого хода и нагрузочные характеристики.

Полученные результаты показали, что методика расчета имеет инженерную погрешность не более 20%, а данный тип электрических машин малой мощности может быть внедрен для промышленного изготовления.

Литература

1. **С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов** Методика инженерного расчета вентильных электрических машин с аксиальным магнитным потоком. Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» 2013, том 13, № 2.
2. **В.А. Игнатов, К.Я. Вильданов.** Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 304 с.

Д.А. Хнычев, студ.; рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время для определения характеристик асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором применяются следующие методы расчетов параметров схемы замещения (СЗ): на основе каталожных и справочных данных; с использованием аналитических выражений [1]; по экспериментальным данным; с применением специализированного программного обеспечения (ПО).

В данной работе проведено сравнение методов определения параметров СЗ АД с использованием программ *Ansys Motor-CAD* и *Ansys RMxprt*. Исследования были выполнены для асинхронного двигателя 4A225M4У3. В качестве исходных данных задано: геометрические размеры, обмоточные данные и свойства используемых материалов.

Исследование проводилось на базе двумерной модели с учетом магнитных свойств стали, соответствующих основной кривой намагничивания.

В табл. 1 представлены полученные параметры СЗ по результатам проведенного моделирования с использованием ПО. Сравнение этих результатов со справочными значениями [2] показывает удовлетворительное соответствие.

Таблица 1. Параметры схемы замещения АД 4A225M4У3

Параметры	Справочник	Motor-CAD	RMxprt
R_1 , Ом	0,058	0,062	0,059
X_1 , Ом	0,185	0,16	0,172
R'_2 , Ом	0,032	0,028	0,026
X'_2 , Ом	0,296	0,286	0,253
$X_{ц}$, Ом	9,231	9,347	9,066

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение специализированного ПО является эффективным средством для предварительной оценки параметров СЗ АД.

Литература

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. В 2-х т. Том 1: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2004. — 656 с., ил.
2. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. — М.: Альянс, 2023. — 504 с., ил.

М.С. Венцеров, асп.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ В ТРАНСПОНИРОВАННОМ СТЕРЖНЕ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Анализ физических процессов в обмотках крупных электрических машин, таких, как крупные турбо- и гидрогенераторы, остается актуальной задачей ввиду значительного вклада отказов обмоток в общую статистику отказов машин подобных типов, высокой стоимости самой обмотки, сложной конструкции данного узла и т.д.

При работе машины в стержневой обмотке возникают потери, обусловленные скин-эффектом и циркуляционными токами. Повышенные потери приводят к повышенному нагреву, что в случае ошибок при проектировании способно привести к значительному сокращению срока службы обмотки и всей машины в целом. Для снижения данных потерь применяется транспозиция проводников. Известны аналитические методики, позволяющие оценить потери в транспонированном стержне на основе коэффициента Фильда. Альтернативным методом расчета является использование современных САЕ-систем.

В работе [1] предложен способ моделирования потерь в транспонированном стержне в 3D-постановке. Отмечено, что полученная модель требует для расчета значительные вычислительные ресурсы, что обусловлено сложной геометрией с достаточно большим числом элементов сетки.

В данной работе предложен альтернативный способ моделирования потерь в транспонированном стержне. В модели используется 2D-постановка, благодаря чему значительно сокращается потребление оперативной памяти при расчете. Предлагаемый подход основан на анализе поля в поперечных сечениях по длине стержня (в случае транспозиции на 360° количество сечений будет равняться количеству элементарных проводников плюс один) с последующей увязкой токов между собой. Полученная модель дает практически идентичный результат по сравнению с 3D-моделью, при этом является гораздо менее требовательной к вычислительным ресурсам рабочей станции. Данная модель может быть использована при проектировании обмотки крупной электрической машины, анализе дефектов и т.д.

Литература

1. **Дергачев П.А., Венцеров М.С., Астафьев В.В.** Моделирование потерь в пазовой части обмотки статора турбогенератора с транспозицией элементарных проводников // Интеллектуальная Электротехника. 2023. No 4. С. 4–17. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_4_04

*Д.А. Ромашкин, студент;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Турбогенератор является важной частью энергосистемы. Он используется на теплоэлектростанциях, теплоэлектроцентралях и атомных электростанциях, предназначен для выработки электроэнергии. В работе рассматривается турбогенератор Т2-4-2, который являлся частью учебно-экспериментальной ТЭЦ, расположенной на территории НИУ «МЭИ».

Целью данной работы является расчёт и построение картины магнитного поля турбогенератора в режиме холостого хода и под нагрузкой. Для исследования используется программное обеспечение COMSOL Multiphysic и программный комплекс FEMM 4.2.

По результатам исследования получены картины магнитного поля турбогенератора, рассчитаны и построены основные эксплуатационные характеристики, проведено сравнение характеристик, полученных с помощью описанных программ, с характеристиками генератора, построенными по методике [1].

Литература

1. **Извеков В.И.** Проектирование турбогенераторов. М.: Издательство МЭИ, 2005. — 440 с.

А.А. Костенко, асп.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТУРБОГЕНЕРАТОРА



Рис. 1. Диаграмма, описывающая применение цифровой модели

ров машин требуются разные межсервисные интервалы для нормального функционирования.

Одним из вариантов решения этой проблемы является развитие мониторинговых систем, позволяющих в реальном времени, без выведения оборудования из эксплуатации, анализировать состояние генераторов и оповещать о необходимости вывода оборудования в ремонт [1].

В рамках настоящей работы выполнена разработка цифровой модели турбогенератора, основанной на данных полевого расчета. Модель преобразует входные параметры (мощность и напряжение) в выходные (токи статора и ротора). На рисунке 1 представлена диаграмма работы модели. Вывод о наличии аварийного режима можно сделать исходя из отклонения данных АСУТП от расчетных значений.

Большую часть времени турбогенераторы работают с определенной несимметрией по току. В связи с этим актуальным становится вопрос корректности воспроизведения несимметричных режимов в цифровых моделях. В рамках настоящей работы проведен анализ результатов расчетов разработанной цифровой модели в сравнении с данными АСУТП в различных режимах, в том числе с несимметричной нагрузкой по фазам.

Литература

1. IEEE Guide for Online Monitoring of Large Synchronous Generators (10 MVA and Above).

*И.А. Грачев, аспирант;
рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ СМЕЩЕНИЯ ПОЛЯ

Метод определения повреждений электрических машин по распределению внешнего магнитного поля (ВМП) является перспективным, так как позволяет не внедряться во внутрь машины [1]. В ИГЭУ проводились эксперименты по диагностике электрических машин по картине ВМП [2].

Результаты эксперимента показали, что по изменению распределения ВМП можно выявлять эксцентриситет синхронных турбогенераторов. Для фиксации составляющих поля был разработан специальный трёхкоординатный датчик. Было решено связать распределение ВМП со значениями конкретного эксцентриситета.

Для этого можно применить коэффициент смещения поля (рис. 1), равный отношению разности индукции ΔB при наличии эксцентриситета и его отсутствию на значение индукции B при отсутствии эксцентриситета, что показано на рисунке.

Снятие картины распределения ВМП позволяет не только определить повреждение обмотки возбуждения, но и выявить эксцентриситет ротора.

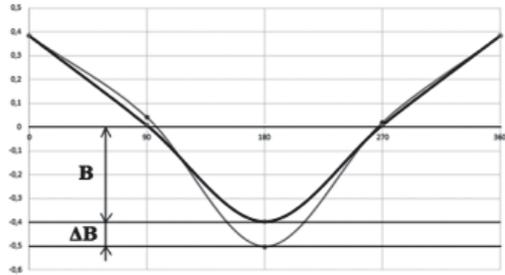


Рис. 1. Определение коэффициента смещения поля

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.

И.М. Качанов, студ.; рук. С.В. Журавлев, к.т.н. (МАИ, Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАГНИТОМЯГКИХ КОМПОЗИТОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Современные материалы и технологии производства открывают широкие возможности для создания новых конструкций электрических машин. Одним из перспективных направлений является применение технологий 3D-печати и порошковой металлургии, которые позволяют изготавливать детали сложной формы. В работе рассмотрены некоторые конструкции деталей активной зоны электрических машин, которые могут быть изготовлены с применением указанных технологий, а также преимущества, которые могут быть достигнуты.

На примере машины с внешним ротором и возбуждением от постоянных магнитов рассмотрена конструкция магнитопровода статора из магнитомягкого композитного материала с зубцами сложной формы. Такая конструкция позволяет сократить осевую длину активной зоны на 13%. При этом масса и мощность машины не изменятся.

Второй пример касается биметаллической обоймы ротора, которая может быть изготовлена с помощью аддитивных технологий. По сравнению с обоймой из титанового сплава, использование биметаллической обоймы позволяет снизить массу магнитов на 43%, а масса всех активных материалов ротора снизится на 15%. Однако стоит отметить, что более сильная реакция якоря может привести к увеличению потерь в обойме и магнитах, что вызовет их нагрев. Это можно предотвратить, сегментировав обойму в осевом направлении на несколько частей.

В третьем примере рассмотрены прямоугольные проводники обмотки якоря с каналами для прокатки хладагента, которые так же можно изготовить с помощью аддитивного производства. Проведено сравнение с аналогичной конструкцией, но в которой прокатка хладагента происходит между проводниками в пазу. Результаты конечно-элементного моделирования показали, что при обеспечении электрической проводимости у печатных проводников, близкой к проводимости обычных медных проводников, возможно увеличить плотность тока, не превышая максимальную температуру изоляции.

Д.В. Кравцов, студент; рук. А.О. Сидоров, к.т.н. (МЭИ, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИИ МОМЕНТА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Пульсации электромагнитного момента, возникающие при работе синхронного генератора с постоянными магнитами, вызывают дополнительные потери мощности в системе. Уменьшение амплитуды пульсаций приводит к повышению эффективности работы машины. Это осуществляется благодаря наличию вспомогательной зубчатой насечки на зубцах статора.

Моделирование электромагнитной системы в программе «Femm 2.0» позволило сделать некоторые выводы: влияние полуцилиндрического паза на статоре уменьшает плотность магнитного потока, создавая равномерное магнитное поле.

Расчёт электромагнитных полей трехфазной синхронной машины выполнен с числом пазов на полюс и фазу: $q = z / 2pt = 1/2$.

Таблица 1. «Данные синхронного генератора с постоянными магнитами»

Параметры	Размеры
Количество фаз	3 фазы
Количество пазов	12 пазов
Количество полюсов	8 полюсов

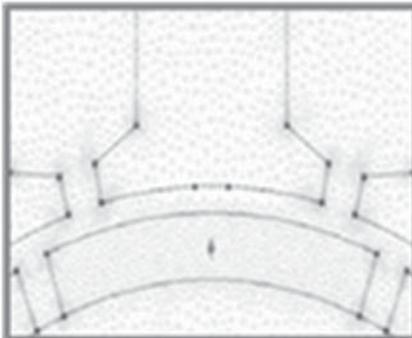


Рис. 1. Пример синхронного генератора с постоянными магнитами, моделируемый в программе «Femm 2.0»

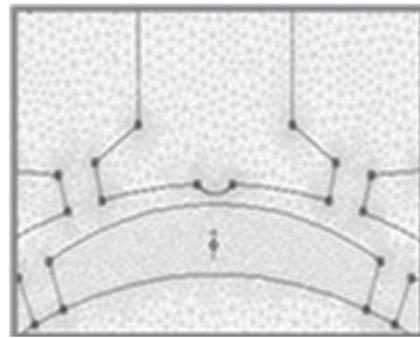


Рис. 2. Пример ротора синхронного генератора с полуцилиндрическим пазом, моделируемый в программе «Femm 2.0»

Литература

1. Herlina; Rudy Setiabudy; Amien Rahardjo: Cogging Torque Reduction by Modifying Stator Teeth and Permanent Magnet Shape on a Surface Mounted PMSG, International Seminar on Intelligent Technology and Its Application 2017.
2. Herlina; Rudy Setiabudy; Amien Rahardjo: Influence of Permanent Magnet and Width of Stator Slot to Cogging Torque Reduction in PMSG using Anti-Notch and Cutting Edge Method, International Seminar on Intelligent Technology and Its Application 2017.

В.Е. Шоронов, асп.;
рук. В.А. Филиппов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО СЕПАРАТОРА

Магнитожидкостные сепараторы (МЖС) нашли своё применение на финишных операциях технологических процессов обогащения и стадиях доводки, в геологоразведочных работах, в технологиях извлечения драгоценных металлов из руд, а также для сепарации электронного лома и вторичного сырья из цветных металлов [1].

Одной из основных характеристик МЖС является выталкивающая сила, действующая на немагнитные тела. Её величина влияет на качество и точность сепарации. Наблюдение за этим параметром в процессе эксплуатации устройства позволяет своевременно узнать об ухудшении выталкивающих свойств магнитной жидкости (МЖ). Разработан способ измерения выталкивающей силы в зазоре МЖС.

На рисунке 1 представлены измеренные и рассчитанные значения зависимостей выталкивающей силы от тока возбуждения для магнитных жидкостей с намагниченностями насыщения $M_s = 15, 20, 30$ и 35 кА/м.

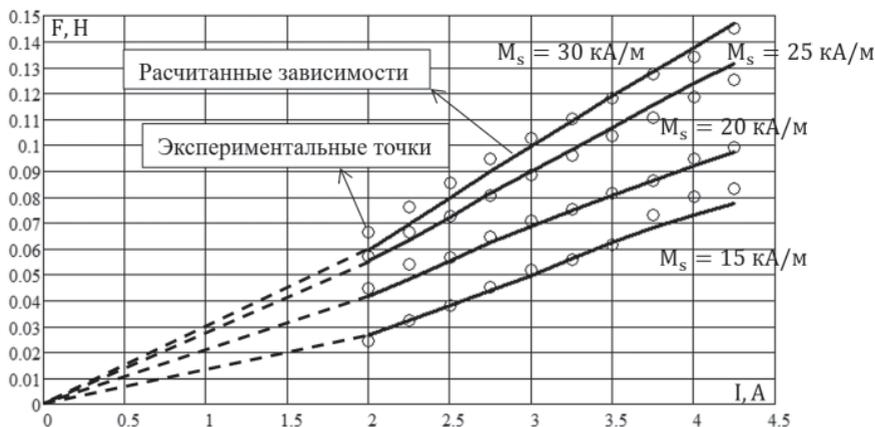


Рис. 1. Рассчитанные и измеренные зависимости выталкивающей силы от тока возбуждения

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.

*З.В. Кудряшова, студент;
рук. А.О. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В наши дни асинхронный двигатель является наиболее используемым в промышленности. Дефекты в двигателе могут привести к его выходу из строя, увеличению затрат на ремонт, простоя технологического процесса и соответственно, потере материальных средств. Важно выявить на ранней стадии (стадии изготовления) эти дефекты и проверить работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с использованием методов диагностики.

Данная работа посвящена исследованию разновидностей дефектоскопии на основе данных, которые можно получить при обнаружении отклонений в работе двигателя. Подобные виды отклонений могут проявляться в дополнительном шуме, вибрации или нагреве. Среди разных видов дефектоскопии асинхронных двигателей рассматриваются такие методы, которые позволяют выявить: износ изоляции обмотки статора, поломка стержней ротора и механические неисправности [1].

Большинство неисправностей обмотки статора связаны с повреждением ее изоляции и коротким замыканием катушек. Эти неисправности вызывают неравномерное магнитное поле, вибрацию и чрезмерный нагрев. Основными неисправностями короткозамкнутого ротора являются растрескивание или поломка его стержней и торцевых колец. Эти неисправности могут проявляться в спектре гармоник тока статора. Механические неисправности происходят вследствие дефектов подшипников, смещения оси ротора и несоосности подшипниковых узлов [2].

Исследуемые методы дефектоскопии позволяют на этапе изготовления и эксплуатации асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором выявить дефекты, влияющие на его работу, для чего используется анализ шума, вибрации и спектра токов в обмотках.

Литература

1. **Scott W. Clark, P.E., Daniel Stevens.** Squirrel Cage Induction Motor Cast Rotor Defect Detection with Magnetic Field Analysis.
2. **Abdurrahman ÜNSAL Özkan KARA** Modeling of Broken Rotor Bars in a Squirrel-Cage Induction Motor.

Н.В. Вергун, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Преобразование энергии морских волн в электрическую энергию является актуальной задачей для развития возобновляемых источников энергии. Линейные генераторы прямого привода находят применение в волновых электростанциях (ВЭС), так как они позволяют преобразовать движение волн в электричество без дополнительных механических передач.

Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность работы линейного генератора, является оптимизация его параметров, таких как ширина зубца, высота паза и осевая длина. Эти параметры напрямую влияют на электромагнитную силу, развиваемую генератором.



Рис. 1. Двумерный осесимметричный вид линейного генератора

В данном исследовании была построена математическая модель линейного генератора с постоянными магнитами и проведено моделирование его работы в программном обеспечении Comsol Multiphysics. Моделирование выполнялось с использованием метода конечных элементов в статике. На основе проведённых расчётов были оценены характеристики генератора, включая массу стали, меди и постоянных магнитов. Также выполнен анализ влияния геометрических параметров генератора на его удельную электромагнитную силу. Разработанные подходы и результаты исследования могут быть использованы для оптимизации конструкции линейных генераторов, применяемых в волновой энергетике. В результате исследования получена конструкция электрической машины, которая рассчитана для удельной электромагнитной силы 740 кН/м^3 .

Литература

1. **Гентова А.А., Каменских И. В.** обзор вариантов преобразователей энергии морских волн // Современные наукоемкие технологии, 2013. № 8-1. С. 115–116.
2. **Williams, Andrew.** “Eco Wave Power completes installation of innovative device in Gibraltar” // Maritime Journal, 2016.

*А.Н. Ворочалков, студент;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОД РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ МАШИН ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

Асинхронные двигатели (АД) востребованы благодаря своей высокой надежности, энергоэффективности, и широко применяются в промышленности. Знание параметров их схемы замещения (СЗ) важно для работы с различными устройствами, проведения диагностики неисправностей и для их непосредственного использования в математическом моделировании. Существуют различные методики расчета, как отечественные, так и зарубежные. В расчетах параметров СЗ АД очень важна точность, которая поможет исключить ошибки при моделировании и повысить точность исследований.

На основании анализа различных методик предложен метод расчёта параметров и проведён эксперимент для его подтверждения.

Рассмотрены как итерационные отечественные методики, например, методика [1], и зарубежные, например, методика [2], так и безытерационные методики, такие как методика [3]. Анализ проводился для АД мощностью от 0,55 до 110 кВт.

В экспериментальной части исследовался асинхронный двигатель лабораторного стенда кафедры ЭМЭА НИУ «МЭИ» мощностью 1,5 кВт.

По паспортным данным двигателя рассчитаны параметры схемы замещения, которые затем были использованы в математической модели асинхронной машины.

Сравнение результатов моделирования с осциллограммами, снятыми на реальном двигателе, показало правильность расчёта параметров по предложенной методике.

Литература

1. **Пантель О.В.** Методика расчёта параметров асинхронного двигателя для моделирования режимов его работы в среде Matlab/Simulink // Журнал Academy 2015, № 2(2) — С. 7–11.
2. **K. Lee, S. Frank, P. K. Sen, L. G. Polese, M. Alahmad C. Waters** Estimation of Induction Motor Equivalent Circuit Parameters from Nameplate Data // 2012 North American Power Symposium — С. 1–6.
3. **Прищепов М.А.** К вопросу о расчете параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным // Энергетика Транспорт 2021 год — С. 23–27.

*К.В. Кузин, аспирант;
консультант А.О. Сидоров, к.т.н., доцент;
рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

БЕСПАЗОВЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

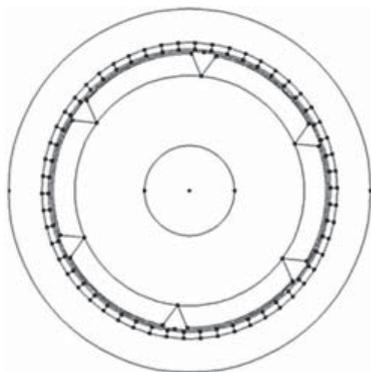


Рис. 1. Поперечное сечение беспазового синхронного генератора с постоянными магнитами

Беспазовые синхронные машины с постоянными магнитами в настоящее время находят применение в разнообразных отраслях промышленности. Их особенностью является отсутствие зубцово-пазовой зоны. Такая конструкция позволяет добиться повышения энергетических показателей, а также улучшения различных характеристик машин, в том числе массогабаритных показателей [1]. С развитием технологий, таких как интеграция с системами управления и новыми материалами для постоянных магнитов, беспазовые синхронные машины будут всё больше применяться в новых областях.

Для того, чтобы разработать методику расчета и проектирования беспазовых синхронных машин с постоянными магнитами, необходимо использовать методику проектирования машин с зубцами. На основании проведенного обзора существующих решений [2, 3] было принято решение выполнить расчет синхронного генератора с постоянными магнитами мощностью 5 кВт.

Далее были определены необходимые корректировки в используемую методику расчета для возможности проектирования беспазового синхронного генератора с постоянными магнитами с ранее заданными исходными характеристиками. С целью определения адекватности полученных результатов в программе FEMM был смоделирован полученный генератор (рис. 1).

Литература

1. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин. М.: Издательство Юрайт, 2022.
3. **А.И. Яковлева, М.А. Загучной, В.Н. Меркушева, В.** 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.

Е.Д. Смирнов, студ.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Для контроля состояния синхронной машины в реальном времени можно использовать датчики Холла, установленные на небольшом удалении от поверхности магнитопровода статора машины. Такие датчики позволяют измерить напряженность поля вокруг машины, построить графики распределения магнитной индукции и по отклонениям от данных исправного агрегата судить о наличии неисправностей в электрической машине. К плюсам вышеописанной методики относится то, что датчики устанавливаются поверх магнитной системы и не требуют внесения в нее никаких изменений, а сам анализ данных возможен в автоматизированном режиме путем подключения к процессу нейронных сетей [1].

Для дальнейшего исследования необходимы испытания, но проведение их на реальной машине слишком дорогостоящая и трудозатратная процедура, рациональным является моделирование электромагнитного поля вокруг машины для определения влияния дефектов на внешнее магнитное поле. Для такой процедуры был выбран EasyMag3D, программный комплекс для расчета трехмерных электромагнитных полей методом пространственных интегральных уравнений.

Для анализа внешнего поля машины была построена модель турбогенератора. Также были разработаны варианты с дефектами, такими как: асимметрия токов фаз обмотки статора, откол зубца магнитопровода статора и эксцентриситет ротора турбогенератора. Был произведен расчет для серии задач в различных режимах работы синхронного турбогенератора. По полученным данным были составлены графики изменения магнитной индукции вдоль линий расчета, размещенных на предполагаемом месте установки датчиков. Далее был проведен анализ полученных графиком и вычислен график полезного сигнала, который представляет собой разность графика магнитного поля машины без дефектов и графика машины с дефектом.

Анализ полученных картин поля показал, что в месте дефекта откола зубца создается отклонение индукции от графика распределения поля исправной машины. А в случае асимметрии токов статора генератора картина поля не имеет локальных искажений, а деформируется полностью, сохраняя при этом периодический вид функции распределения индукции вокруг машины.

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.

Д.А. Жгутов, студ.;
рук-ли. Е.В. Качалина, к.т.н., доц.,
М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧИСЛА ФАЗ

На сегодняшний день индукционно-резистивные системы нагрева являются достаточно мощными однофазными нагрузками, что обуславливает необходимость использования специальных симметрирующих трансформаторов — преобразователей числа фаз.

Вариантом решения задачи симметрирования ИРСН является использование в схеме электроснабжения специального трансформатора, соединенного с использованием схемы Скотта.

В современной электротехнике и электроэнергетике система трансформаторов Скотта (Т-схема) применяется при питании мощных однофазных или двухфазных потребителей, или группы потребителей от трехфазной сети для минимизации возникающей при этом токовой несимметрии [2].

В данной работе были проведены электромагнитные расчеты трансформатора Скотта, для питания ИРСН в программе для конечно-элементного моделирования Comsol Multiphysics.

Предварительно для проведения расчетов были рассчитаны два однофазных трансформатора по методике, описанной в [1].

Сложность моделирования данного трансформатора заключается в том, что в отличие от общепромышленных трехфазных или однофазных трансформаторов, данный специальный трансформатор состоит из двух однофазных, соединенных по схеме Скотта и подключается к трехфазной сети. И фактически для проведения конечно-элементного моделирования электромагнитных полей данного преобразователя требуется учитывать данные особенности.

Литература

1. **Тихомиров П.М.** Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вут зов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 528 с.: ил.
2. Разработка и моделирование специального симметрирующего трансформатора для питания индукционно-резистивной системы нагрева / Федин М.А., Качалина Е.В., Молостова А.В., Фебина С.А., Зотов М.Л., Жгутов Д.А., Василенко А.И., Кошкин Д.П. // Промышленная энергетика. 2024. № 2. С. 2–13.

*М.Ф. Тупеков, М.А. Булатенко, студенты;
рук-ли Е.В. Качалина, к.т.н., доц., М.А. Федин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР ВНУТРИСИСТЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПЕРЕДАЮЩИЙ ЭНЕРГИЮ ОТ ОДНОЙ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ДЛЯ ПИТАНИЯ ДРУГОЙ

В работе поставлена новая научно-техническая задача по разработке системы электрообогрева, способной эффективно обслуживать рассредоточенную сеть транспортных трубопроводов, выкидных линий скважин и отводов, что является новым подходом в сравнении с существующими линейными системами. Использование принципа разветвления в скин-кабельных системах электрообогрева позволяет сократить количество точек подключения ИРСН или нагревательных кабелей к электрической сети за счет использования специальных трансформаторов внутрисистемной передачи электроэнергии, позволяющих отбирать электроэнергию от основной скин-системы и передавать ее для электропитания другой скин-системы или греющего кабеля, а также оптимизировать распределение тепла в сложных сетях трубопроводов. В отличие от традиционных систем, где каждый участок трубопровода требует отдельной системы обогрева, разветвленная система способна обслуживать множество участков от одного источника питания, что повышает ресурсоэффективность на 30–40% в части снижения общей длины силовых кабелей, необходимых для подвода электроэнергии к устройствам обогрева (скин-системам и греющим кабелям), снижает затраты на установку и обслуживание на 15–25%, существенно уменьшает дополнительные потери электроэнергии в силовых кабелях.

В качестве системы специальных трансформаторов внутрисистемной передачи электроэнергии будут использованы несколько трансформаторов тока тороидальной конструкции. Количество трансформаторов тока будет зависеть от требуемого напряжения и тока нагрузки.

Литература

1. **Федин М.А.** Разработка математической модели электромагнитного поля и схемы замещения индукционно-резистивной системы нагрева для промышленных трубопроводов / М.А. Федин, Е.В. Качалина, А.В. Молостова, С.А. Федина, А.И. Василенко, М.Л. Зотов, Ю.А. Демидов // Промышленная энергетика. 2023. № 12. С. 2–9.
2. **Ананян В.** Расчет трансформатора тока / В. Ананян, И.В. Кириллов, М.А. Громов, И. Рахманов // The scientific heritage. 2021. № 75-1. С. 21–24.

Я.В. Ареев, студ.;
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц.,
М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИМПУЛЬСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АСФАЛЬТОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Импульсные трансформаторы (ИТ), применяемые в различных импульсных устройствах и предназначенные для трансформации коротких импульсов с минимальными искажениями, предлагается использовать для борьбы с асфальтопарафиновыми отложениями (АСПО). В качестве материала сердечника используются магнитномягкие ферриты и пермаллоевые ленты, имеющие непрямоугольную петлю гистерезиса, описанную в книге [1]. Форма импульсов устройства — экспоненциально затухающая синусоида, частота импульсов составляет 120–180 кГц.

Конфигурация электромагнитного поля рассматриваемого ИТ схожа с конфигурацией поля открытой скин-системы нагрева, описанной в книге [2]. АСПО отлагаются на поверхности различного нефтепромыслового оборудования, сильно затрудняя добычу, транспортировку и хранение продуктов добычи. Использование ИТ (поз. 6, рис. 1) предотвращает образование АСПО за счёт ярко выраженного ультразвукового эффекта, действующего на расстоянии $L/2$ в обе стороны от места размещения ИТ.

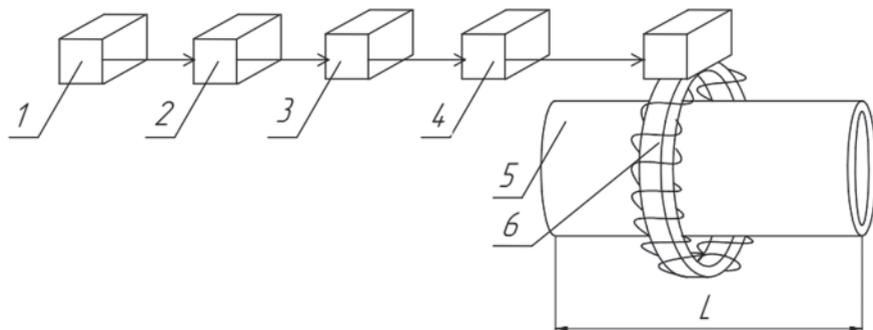


Рис. 1. Функциональная схема устройства импульсного трансформатора:
1 — источник питания 220 В; 2 — выпрямитель; 3 — фильтр; 4 — инвертор;
5 — транспортная труба; 6 — импульсный трансформатор

Литература

1. Балбашова Н.Б. Миниатюрные импульсные трансформаторы на ферритовых сердечниках. — М.: Энергия, 1976.
2. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023.

*А.Д. Зорин, студент;
рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ОБМОТКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ

На сегодняшний день зубцовая обмотка, которую также называют сосредоточенной обмоткой переменного тока, часто применяется в электрических машинах с высокой удельной мощностью. Это связано с компактностью и малым числом пазов статора помимо других достоинств данной обмотки. Увеличенная линейная плотность тока при адекватном охлаждении позволяет получать высокие значения удельной мощности и удельного момента. Наибольшее распространение данный тип обмотки нашёл в синхронных машинах с постоянными магнитами, работающими с твердотельными силовыми преобразователями как в двигательном, так и в генераторном режиме.

В работе проведен обзор статей [1–3], разбирающих исследования зубцовых обмоток и обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. Среди достоинств отмечается, в частности, возможность повышения удельной мощности синхронной машины с постоянными магнитами. Также приводятся присущие этому типу обмоток недостатки и способы их компенсации, а также различные области применения зубцовых обмоток.

В работе проведен анализ различных расчетных формул для определения обмоточного коэффициента обмотки с дробным $q < 1$ на основе рекомендаций [4], а также выполнена проверка цифровой моделью с использованием программ полевого расчета. В качестве прототипа выбран трехфазный линейный генератор возвратно-поступательного действия с числом пазов $Z=3 \times 12$ при числе полюсов $2p=14$.

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, Kung 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.

А. Соколов, студ.;
рук. В.Б. Баль, к. т. н, доцент (НИУ «МЭИ»)

ТОКОВАЯ ДИАГНОСТИКА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ОБМОТКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

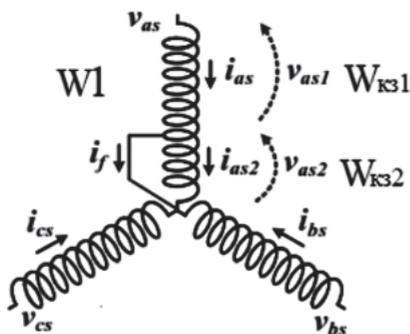


Рис. 1. Трехфазная обмотка статора АД с КЗ в фазе «а»

Токковая диагностика является перспективным направлением в мониторинге коротких замыканий в обмотках асинхронных двигателей. Это обусловлено тем, что короткое замыкание является частой проблемой в короткозамкнутых обмотках электрических машин.

В работе рассмотрен метод токовой диагностики на основе расчетов коэффициентов несимметрии токов среднего и действующего значений, а также гармонических составляющих токов фаз. Проведен анализ полученных значений, построены характеристики коэффициентов несимметрии, а также предложен алгоритм расчета данного метода.

В перспективе планируется усовершенствовать метод токовой диагностики. В том числе улучшить алгоритм, подробнее проанализировать различные токи и определить наилучшие значения для расчетов коэффициентов несимметрии. Разрабатывается более чувствительный датчик, который будет реагировать на изменение коэффициентов несимметрии и уведомлять о возможной неисправности.

Исследование приведет к расширению возможностей алгоритма нахождения коэффициента несимметрии и улучшению метода токовой диагностики.

Литература

1. Сафин, Н.Р. Совершенствование методики токовой диагностики асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: специальность 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сафин Наиль Рамазанович. — Екатеринбург, 2017. — 24 с. — EDN YLGAPP.
2. Tavner P. Conditon Monitoring of Electrical Machines / P. Tavner, J. Penman // Research studies press LTD, 1987. — 302 p.

А.В. Кутерман, студ.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Синхронные двигатели с постоянными магнитами широко используются в промышленности, где необходима высокая точность позиционирования и регулирования. Ускоряющийся прогресс в области технологий электромеханических систем обуславливает возрастающую актуальность задач по оптимизации их характеристик.

Ключевым этапом исследования является разработка модели двигателя с использованием специализированных программных комплексов COMSOL Multiphysics и ANSYS Electronics Desktop, с применением метода конечных элементов для анализа и оптимизации его характеристик. Основное внимание уделено исследованию зависимости скорости вращения, крутящего момента и КПД в зависимости от формы постоянных магнитов.



Рис. 1. Исследуемые формы постоянных магнитов

Полученные результаты предоставляют возможность разработки двигателей с параметрами, оптимизированными под требования конкретных задач и эксплуатационных условий.

Литература

1. **J.H. Yoo, C.S. Park and T.U. Jung**, “Permanent magnet structure optimization for cogging torque reduction of outer rotor type radial flux permanent magnet generator,” International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), Miami, FL, USA, 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/IEMDC.2017.8002398, 7 August 2017.
2. **Q. Hongbo, W.Yu, C. Yang and R. Yi**, “Influence of different rotor magnetic circuit structure on the performance of permanent magnet synchronous motor,” Archives of Electrical Engineering, pp.583–594, September 2017.
3. **A. Mlot, M. Lukaniszyn and M. Korkosz**, “Magnet loss analysis for a high-speed PM machine with segmented PM and modified tooth-tips shape,” Archives of Electrical Engineering vol.65(4), pp. 671–683, August 2016.

М.А. Пчелин, студент; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

В газотурбинных установках (ГТУ) для производства электроэнергии обычно применяют высокооборотные синхронные генераторы. Они могут работать на очень высоких оборотах, часто в пределах 6000–60000 оборотов в минуту и выше, а также выдерживать высокие температуры, возникающие в ходе работы газотурбинной установки. Это приводит к необходимости применения современных композитных и высокопрочных материалов для создания легких и прочных конструкций генераторов. Помимо этого, необходимы электронные преобразователи — выпрямитель и инвертор, поскольку невозможно работать напрямую в сеть. Важным критерием для выпрямителя и инвертора является то, что они должны быть управляемыми, чтобы иметь возможность регулировать выходные параметры.

В настоящее время газотурбинные установки активно развиваются как источники автономного электроснабжения. Эту тенденцию можно объяснить одним из преимуществ этих устройств [1], они имеют высокие удельные массо энергетические показатели благодаря высокому быстродействию. Наиболее перспективной конструктивной схемой электрической части является безредукторное соединение электрогенератора с турбиной. К генераторам с высокой частотой вращения предъявляются особые требования с точки зрения механической прочности вращающихся частей и надежности подшипникового узла. Технологии в области генераторов для газотурбинных установок постоянно совершенствуются с целью повышения эффективности, надежности и экономичности электроэнергетических систем.

Как результат проделанной работы представлена модель высокооборотного генератора для газотурбинной установки в программном обеспечении COMSOL Multyphysics.

Литература

1. **N. Neustroev, A. Kotov and I.A. Chuyduk**, “Starter Generator Design Development for Modern Micro Gas Turbine Plant,” 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111922.

Д. Ганин, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Актуальность исследования высоковольтных синхронных генераторов обусловлена необходимостью повышения эффективности передачи электроэнергии и сокращения энергетических потерь. Прямое подключение таких генераторов к распределительным сетям исключает использование повышающих трансформаторов, что снижает затраты на оборудование, улучшает экологическую ситуацию за счёт отказа от маслонаполненных систем и увеличивает КПД передачи электроэнергии.

В работе основное внимание уделено электромагнитному анализу высоковольтных синхронных генераторов как ключевому этапу их проектирования и оптимизации.

Электромагнитный анализ проведен для генераторов, разработанных в нашей стране в 70–80-е годы. По данным научно-технических отчетов восстановлена их геометрия. Для проведения анализа построена модель в программе конечно-элементного моделирования FEEM 4.2.

Построенная модель позволяет оценить распределение магнитной индукции, выявить зоны насыщения и определить области с высокими потерями энергии.

Электромагнитный анализ подтвердил перспективность применения высоковольтных генераторов. Однако для минимизации потерь и улучшения эксплуатационных характеристик требуется использование современных изоляционных материалов, оптимизация конструкции обмоток для снижения магнитного насыщения и применение усовершенствованных методов охлаждения.

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.
2. **Шевченко В.В., Соловьёв М.В.** Проблемы и перспективы создания высоковольтных генераторов // Системы обработки информации. — 2005. — № 6.

Д.А. Серов, студент; рук. А.О. Сидоров, доц. (НИУ МЭИ, Москва)

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ МОЩНОСТЬЮ 5 КВТ

В связи с ростом интереса к возобновляемым источникам энергии, синхронные генераторы с постоянными магнитами играют важную роль благодаря своей высокой эффективности и надежности. Их применение в ветровых турбинах и небольших гидроэлектростанциях обеспечивает устойчивое производство электроэнергии, снижая зависимость от ископаемых источников. Технология позволяет создавать компактные и легкие генераторы, что актуально для мобильных и портативных электрических устройств, а также для распределенных энергетических систем.

Основной проблемой является высокая стоимость материалов, особенно постоянных магнитов, что увеличивает себестоимость генераторов. Также стоит вопрос улучшения теплоотвода и повышения надежности работы генераторов в условиях переменной нагрузки и окружающей среды. Необходимость оптимизации конструкции для минимизации механических потерь и увеличения КПД.

Синхронные генераторы с постоянными магнитами мощностью 5 кВт обладают значительным потенциалом для применения в различных областях, включая возобновляемую энергетику и автономные энергосистемы. Дальнейшие исследования и разработки должны быть направлены на повышение эффективности и долговечности, а также на создание инновационных решений для интеграции этих генераторов в различные энергетические системы.

В ходе работы были изучены конструкции и принцип работы генератора, проведены соответствующие аналитические расчеты для определения: размеров генератора и потерь.

Литература

1. **Lusu Guo and Leila Parsa** «Effects of Magnet Shape on Torque Characteristics of Interior Permanent Magnet Machines» IEEE Department of Electrical, Computer and Systems Engineering, vol. 978, No. 1, pp. 93–97, September 2009.
2. **Гребеников В.В., Прымак М.В.** Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами». № 2. 2009.

О.А. Морозов, студ.; рук. А.С. Иванов (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЯГОВОГО АКСИАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В настоящее время в современных конструкциях беспилотных летательных аппаратов аксиальные тяговые электродвигатели получили широкое распространение. Это обусловлено рядом преимуществ таких двигателей: высокий КПД, надежность, компактность, высокая плотность крутящего момента [1].

В работе рассмотрены аналогичные конструкции двигателей, методы расчета и конструирования. Проведена оценка возможности замены двигателя постоянного тока на разработанный аксиальный электродвигатель.

При одинаковых технических характеристиках разработанный двигатель имеет меньшие габариты. Замена позволяет снизить экономические затраты на производство двигателей, что может позволить улучшить системы управления летательным аппаратом. Такая замена позволит повысить КПД, а вследствие уменьшения веса улучшить летно-технические характеристики.

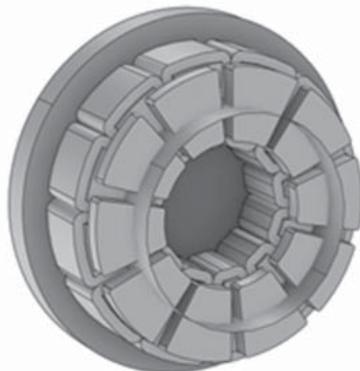


Рис. 1. Электродвигатель

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

*Р.А. Махмадалиев, студент;
рук. В.А. Кузьмичев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА АВТОМОБИЛЯ

В настоящее время, вентильно-индукторные машины активно исследуются, улучшаются и находят новые применения, и на роль стартер-генератора автомобиля данный тип электрических машин подходит наилучшим образом, не только за счет своей стоимости и надежности, а и за счет высокого пускового момента, высокой частоты генерируемого напряжения и отсутствия необходимости в механическом редукторе.

В работе проведен обзор литературы [1–3], рассматривающей особенности проектирования вентильно-индукторного двигателя, а также, требования к стартер-генераторным установкам автономных объектов [4]. Проведен сравнительный анализ различных типов электрических машин для стартер-генераторной установки, изучены популярные варианты исполнения стартер-генератора для автомобиля, в результате чего был сделан вывод о достоинствах вентильно-индукторной машины и выбрана концепция интегрированного стартер-генератора.

На основании принципов проектирования, описанных в [4], разработана вентильно-индукторная электрическая машина для стартер-генератора автомобиля. Результаты проектирования полностью удовлетворили, а в части, даже превзошли ожидания. На данный момент ведётся работа по оптимизации конструкции машины.

Литература

1. **Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторный двигатель для привода механизмов собственных нужд электростанций: Дисс. ... канд. техн. наук.: Москва, 2004. — 169 с.
2. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели: учебное пособие по курсу “Специальные электрические машины” для студентов, обучающихся по направлению “Электротехника, электромеханика и электротехнологии”. — М.: Изд-во МЭИ, 2003. — 70 с.
3. **Фисенко В.Г., Попов А.Н.** Проектирование вентильных индукторных двигателей: методическое пособие по курсу “Специальная электромеханика” для студентов, обучающихся по направлению “Электротехника, электромеханика и электротехнология”. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 55 с.
4. **Николаев В.В.** Стартер-генератор автономных объектов на основе вентильно-индукторной машины: Дисс. ... канд. техн. наук.: Москва, 2005. — 142 с.

Секция 23

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

Physics and technologies of materials and components

Председатель секции:

д.т.н., профессор Серебрянников Сергей Владимирович

Секретарь секции: Матасов Антон Владимирович

Л.А. Вассуф, асп.;
рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА СВЯЗУЮЩЕГО В ИНТЕГРАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТА ТИПА ЛСКВ

Механическая прочность композита является критически важным аспектом в инженерии, роль которой весьма существенна. Наполнители играют ключевую в улучшении механических свойств материалов. Связующее может значительно повысить механическую прочность композита, распределяя нагрузки по всему объёму материала и наполнители могут влиять на теплопроводность, электрическую проводимость, а также на другие характеристики. Таким образом, правильный выбор связующего и наполнителей является важным этапом в разработке новых материалов с заданными свойствами.

Электроизоляционная лента типа ЛСКВ композит, который имеет предел прочности по основе/по утку более 127,3/124,3 Н/мм², т.е. модуль упругости превышает 26/30,3 Н/мм². По результатам механических испытаний наполнителей предел прочности стеклоткани Э4-30 (EW30) по основе/по утку составляет 65,4/53 Н/мм², при этом модуль упругости превышает 21,8/18,86 Н/мм². Предел прочности второго наполнителя слюдяной бумаги типа А.506 вдоль/поперек 8,69/7,79 Н/мм², т.е. модуль упругости превышает 2,60/2,34 Н/мм². Связующее увеличивает модуль упругости композита.

Литература

1. Вассуф Л.А, асп.;рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ») механические свойства нового электроизоляционного композита. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тридцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. — 1342 с. (431 с.)

*Д.И. Иванов, студ.;
рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»);
М.В. Дуйнов, коммерческий директор (АО «Электропровод»)*

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ГИБКИХ ЭКРАНИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

В настоящее время существуют различные варианты кабельных изделий для эксплуатации в электроприводах и в смежных областях техники.

Цель работы заключается в создании научно-технического задела по разработке и производству кабелей гибких экранированных с медными жилами для электро-транспорта.

Наименование и область применения указанных выше кабелей весьма широка. Рассмотрены главным образом две основные конструкции:

- кабель гибкий экранированный для автотранспорта одножильный;
- кабель гибкий экранированный для автотранспорта многожильный.

В работе были проведены исследования, направленные на разработку требований к кабелям и соответствующих методик подтверждения этим требованиям, предъявляемым к данным изделиям, с целью дальнейшего контроля соответствия разрабатываемой продукции; исследования по выбору конструкционных материалов с точки зрения определения их соответствия задачам создания кабелей гибких экранированных с медными жилами для электротранспорта и соответствующих комплексу установленных требований, в том числе специфических, связанным с особенностями эксплуатации электротранспорта.

Разработка эскизной конструкторской документации для изготовления макетных образцов кабелей и разработка программы и методик оценочных испытаний; оценочные испытания макетных образцов на соответствие основным требованиям, предъявляемым к кабелям, с целью выбора оптимального варианта исполнения [1]. Разработка проекта технических условий на кабели гибкие экранированные для автомобилей и их электроприводов. Рассмотрены методики оценки соответствия разработанных кабелей требованию к сроку службы; проведение предварительных испытаний опытных образцов кабелей, включая по подтверждению срока службы.

Литература

1. **ГОСТ 31996-2012** «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия».

*А.В. Иванов, студ.;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ ГРАНЕЦЕНТРИРОВАННОЙ РЕШЁТКИ 3-Х МЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА И ДАЛЬНЕЙШЕЕ ВЫВЕДЕНИЕ ЗАКОНА ДИСПЕРСИИ НА ОСНОВЕ ЭТОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ COMSOL

В работе представлен подход к моделированию элементарной ячейки формы параллелепипеда 3-х мерного фотонного кристалла и вывода на основе этой модели закона дисперсии в программном обеспечении COMSOL. Представленная модель позволяет более точно отобразить поведение электромагнитной волны оптического спектра в элементарной ячейке, с нахождением и визуализацией напряжённости электрического поля в зависимости от частоты в 3-х мерном пространстве. А также дальнейшее построение и нахождение закона дисперсии и запрещённой зоны для фотонов на основе модели.

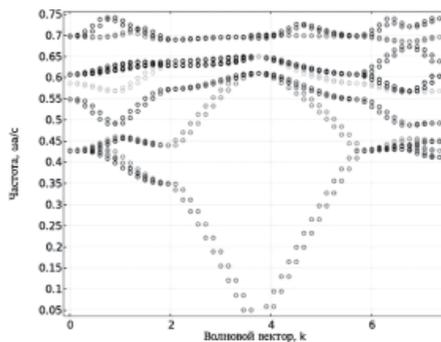


Рис. 1. Закон дисперсии, полученная в результате моделирования в ПО COMSOL

*С.В. Кирьянов, С.А. Аксенова, студенты; рук. С.В. Сидорова, к.т.н.
(МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва)*

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В условиях развития космических исследований возрастает потребность в высокоточных и энергоэффективных датчиках для измерения слабых магнитных полей. Спин-туннельные магниторезистивные (СТМР) датчики на островковых наноструктурах (ОНС) обладают высоким разрешением и чувствительностью [1], что делает их перспективными для применения в навигационных системах космических аппаратов и исследованиях магнитных полей планет. Миниатюрные размеры и низкое энергопотребление позволяют СТМР-датчикам стать важным элементом научного оборудования космических миссий.

Технологические параметры формирования СТМР-датчика определяют геометрию функциональных элементов структуры, таких как латеральные размеры ОНС и расстояние между ними. Эти геометрические параметры оказывают непосредственное влияние на выходные характеристики датчика, включая его чувствительность. В связи с этим критически важно провести моделирование физических свойств СТМР структуры для выявления необходимых размеров островков.

Целью данной работы является моделирование связи геометрических и функциональных характеристик СТМР-датчика на основе ОНС в зависимости от величины магнитного поля.

Моделирование производилось в физико-математическом пакете мультифизического моделирования с пользовательским вводом свойств наноразмерного магнетизма и с учетом увеличения коэрцитивной силы при уменьшении диаметра ОНС.

В результате моделирования установлено, что наибольшая чувствительность СТМР-датчика достигается при размерах ОНС кобальта 70 нм, никеля — 100 нм. Работа датчика реализовывалась в диапазоне полей 0,01...1000 нТл.

В дальнейшем планируется формирование и тестирование СТМР-образца с заданными геометрическими параметрами, а также моделирование работы датчика в условиях космической среды и решение задачи экранирования датчика от влияния магнитных полей космических аппаратов для обеспечения точности измерений и стабильности его работы.

Литература

1. **Шерстнев И.А.** Электронный транспорт и магнитная структура систем наностровов из ферромагнитных материалов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико — математических наук. 2014.

*А.И. Сангыл-оол, аспирант;
рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТ-РАДИАЦИОННЫХ СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ РАДИАЦИОННО СШИВАЕМОГО ФТОРОПЛАСТА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

При радиационной сшивке полимерных сшивающихся материалов помимо образования поперечных связей между макромолекулами образуются свободные радикалы, то есть разорванные не рекомбинировавшие химические связи. После завершения облучения свободные радикалы постепенно рекомбинируют. Это приводит как к изменению макросвойств материала, так и к выделению газообразных и жидких продуктов. Со временем эти процессы затухают, и свойства сшитого полимера стабилизируются. Поэтому является актуальной задача исследования закономерности пост-радиационных изменений структуры сшитого полимера.

В работе проведено исследование изменения инфракрасного спектра радиационно-сшиваемой фторопластовой изоляционной композиции марки 267.1 от времени выдержки при комнатной температуре после окончания облучения электронами. Провод облучён дозой 14 Мрад. На ИК-спектрометре ФТ-801 сняты спектры изоляции непосредственно на проводе с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения. Спектры снимали спустя 12 минут, 3 часа, 22 часа и 64 часа после окончания облучения.

Измеряли оптическую плотность линий поглощения на длинах волн 510 и 1453 см⁻¹. Согласно литературным данным линия 510 см⁻¹ относится к кристаллическим участкам полимера. Следовательно, при сшивании данного материала происходит аморфизация. Результаты измерений показаны в таблице. Видно, что пост-радиационные процессы в исследованном материале длятся на протяжении не менее 64 часов после окончания облучения.

Таблица 1. Оптическая плотность линий поглощения в зависимости от времени выдержки после облучения

Длина волны, см ⁻¹	Оптическая плотность (у.е.), время после облучения			
	12 мин.	3 ч	22 ч	64 ч
510	0,493	0,470	0,343	0,340
1453	0,167	0,166	0,140	0,126

А.Ю. Резнюков, студ.;
рук. А.Е. Рогожин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЗАТВОРНОГО СТЕКА МОП-ТРАНЗИСТОРОВ С ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМОЙ < 45 НМ

Современные электронные системы состоят из огромного числа наноразмерных транзисторов, обеспечивающие их высокую вычислительную мощность. С каждым годом быстродействие транзисторов возрастает благодаря уменьшению их размеров и улучшению их электрических свойств. Для дальнейшего развития полупроводниковой промышленности не только необходимо дальнейшее масштабирование транзисторных структур, но и применение новых подходов, а именно: «напряжённого» кремния, high-k диэлектриков, металлического затвора и FinFet [1–3]. Основной частью МОП-транзистора является затворный стек. Он состоит из контакта затвора и диэлектрического слоя, отделяющего его от полупроводниковой подложки. Затворный стек обеспечивает контроль проводимости канала в полупроводнике между областями истока и стока при помощи подачи напряжения на контакт затвора.

В работе исследована возможность формирования затворной структуры МОП-транзистора с технологическими нормами 28 нм, с использованием технологических процессов, доступных в РФ. Для нанесения слоя high-k диэлектрика HfO_2 применялся метод плазмо-стимулированного атомно-слоевого осаждения. Для нанесения вольфрамовых контактных областей МОП структуры использовался метод магнетронного распыления на постоянном токе. Для формирования отдельных площадок использовалась оптическая литография и плазмохимическое травление. Были проведены измерения вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик получившихся структур. Были получены значения диэлектрической проницаемости и токов утечки для различных площадок. Необходимо отметить, что для улучшения характеристик необходимо проводить отжиг структур. Необходимы дальнейшие исследования для усовершенствования технологии.

Литература

1. **Neizvestnyi I.G., Gridchin V.A.** The Use of Stressed Silicon in MOS Transistors and CMOS Structures. Russian Microelectronics — 2009 — Vol 38(2).
2. **Chau R., Datta S.** High-k metal-gate stack and its MOSFET characteristics. IEEE Electron Device Letters — April 2004. — Vol 25. P. 408–410.
3. **Runxin Y.** Advancements And Applications of Finfet Technology in Modern Semiconductor Engineering. Highlights in Science Engineering and Technology — Vol 96. P. 54–60.

*А.В. Рамазанова, студ.; О.И. Киселева, асс.;
рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»);
Д.С. Холодный, к.ф-м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОГНЕСТОЙКОСТЬ И ГОРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

На сегодняшний момент вопрос огнестойкости кабельных изделий стоит достаточно остро. Большинство эксплуатирующих организаций предъявляет повышенные требования к параметрам нераспространения горения и огнестойкости кабелей.

В настоящее время горение электрических кабелей исследовано достаточно подробно [1], но мало работ посвящается вопросам эксплуатации оптических кабелей (ОК) при воздействии пожаров. Достаточно поверхностно рассмотрена сама теория процесса возникновения и самого воздействия горения на кабельные изделия.

Целью работы является моделирование процесс горения кабелей связи на прототипах в виде полимерных стержней. Теоретически рассмотрены основные аспекты горения. Предлагается упрощённая двухкомпонентная модель для расчётов и анализа процесса горения.

Рассматриваются уравнение химической кинетики, основное уравнение горения, приводится в первом приближении модель ламинарного пламени.

В качестве дополнительно аспекта произведены расчеты температур горения кабельных изделий. Расчет температуры горения был сделан при помощи уравнений теплового баланса методом последовательных приближений. При расчете температуры горения использовались стандартные значения объемов продуктов горения и непосредственно их составные части, теплоты горения и прочие термодинамические параметры. Продемонстрирована модель процессов горения для предварительно не перемешанной горючей смеси, близкой к реальному механизму процесса горения.

Литература

1. Мещанов Г.И., Холодный С.Д. Физико-механическая модель процесса горения электрических кабелей при групповой прокладке // Кабели и провода. 2007. № 4 (305). С. 10–14.

*К.И. Качурин, Г.В. Смирнов, Д.Р. Смиренский,
А.Е. Евсюков, Р.В. Щербаков, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ ГЕМАТИТА (α - Fe_2O_3) РАСТВОР-РАСПЛАВНЫМ МЕТОДОМ

Гематит является перспективным материалом для применения в качестве чувствительного элемента для регистрации СВЧ сигналов. Это является огромным преимуществом по сравнению с традиционными устройствами и дает возможность создавать электронные системы связи нового поколения.

Имеются работы по выращиванию кристаллов гематита методом раствор-расплавной кристаллизации, однако в результате получают образцы небольших размеров (2–3 мм), что затрудняет проведение исследований и дальнейшее использование кристаллов [1].

В настоящей работе кристаллы α - Fe_2O_3 были выращены методом раствор-расплавной кристаллизации. В качестве флюса использовались Bi_2O_3 и Na_2CO_3 .

Однофазность полученных образцов подтверждается методом рентгенофазового анализа. На синтезированных кристаллах были измерены спектры ферромагнитного резонанса.

Литература

1. G. Garton, S.H. Smith, B.M. Wanklyn. J. Crystal Growth 13/14 (1972).

*А.В. Рамазанова, студ.; О.И. Киселева, асс.;
рук. А.А. Филиппов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЯ ДЕФЛЕКТОРА С ПОМОЩЬЮ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ПО МЕТОДУ ДЕ КАСТЕЛЬЖО

Чтобы не допустить роста осевого размера дефлектора, при изменении допустимого угла в начальной точке, необходимо осуществлять оптимизацию кривой Безье. Для этого можно выбрать оптимизацию профиля с помощью кривых Безье [1].

Уравнения кривых Безье заданы параметрически и представляются в виде (1).

$$b_{k,t}(t) = \binom{n}{k} \times t^k (1-t)^{n-k}, \quad (1)$$

где $k = 0, \dots, n$, где n — степень многочлена, t — параметр $\in [0; 1]$

Нулевая и конечная точки заранее определены расчётом дефлектора, в то время как изменением положения опорной точки с координатами x_1, y_1 можно изменять форму кривой, строящейся между ними. Построение кривых Безье происходит по методу французского математика и физика Поля де Кастельжо. Чтобы построить кривую Безье, необходимо соединить отрезками опорные точки P_i с координатами x_i, y_i по очереди, при $i = 0$ до n .

Оптимизация существующего профиля дефлектора проходила в соответствии с изменением координаты опорной точки x_1 . Начальная точка профиля дефлектора имела координаты $(0; 0)$, в то время как конечная точка имела координаты $(44,0; 21,5)$. Таким образом координата опорной точки менялась в диапазоне от 0 до 44 с тем, чтобы изменением профиля дефлектора изменить напряжённость электрического поля вдоль расчётных границ элемента распределения электрического поля [2].

В результате расчётов была найдена оптимальная координата опорной точки $x_1 = 15$. При этом максимальная напряжённость электрического поля вдоль границы раздела между силиконовой изоляцией элемента распределения электрического поля и полиэтиленовой изоляцией кабеля снизилась на 19,3%. В то же время максимальная напряжённость электрического поля вдоль заземляющего дефлектора существенно не изменилась.

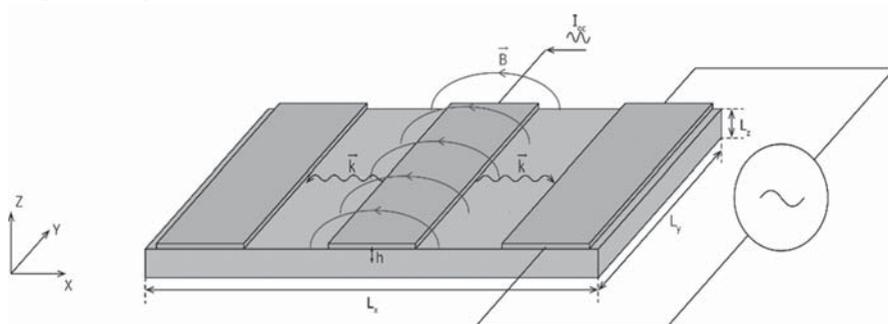
Литература

1. **Фокс А., Прагг М.** Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 304 с.
2. **Серебрянников С.В., Славинский А.З., Филиппов А.А.** Влияние различных факторов на повышение электрической прочности внутренней поверхности высоковольтной соединительной муфты (Обзор) // Кабели и провода. — 2021. — № 5 (391). — С. 27–38.

*Р.В. Щербаков, Л.Г. Мальцев, А.А. Евсюков,
Д.Р. Смиренский, А.С. Самойлов, К.И. Качурин,
Г.В. Смирнов, И.К. Анимича, В.А. Катина;
рук. А.В. Матасов, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА МАГНОНОВ В ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОМ ГРАНАТЕ

Исследование транспорта магнонов в железо-иттриевом гранате (ЖИГ) является ключевым направлением современной спинтроники, ориентированной на разработку энергоэффективных устройств передачи и обработки информации. Основной задачей в этой работе является получение передаточной функции для магнитных волн. Были исследованы теоретические предпосылки к получению зависимости, а также проведено моделирование системы волновода железо-иттриевого граната.



Для моделирования динамики магнонов и их взаимодействия с внешними полями были использованы программные среды MuMax3 и BORIS. MuMax3 позволяет проводить высокоточные микромагнитные расчёты на основе уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта с учётом геометрических и материаловых особенностей системы. BORIS, в свою очередь, применяется для симуляции движения заряженных частиц и спинов в электромагнитных полях, что важно при рассмотрении взаимодействия магнонов с другими квазичастицами.

Таким образом, комплексное исследование транспорта магнонов в ЖИГ с использованием современных программных средств позволяет глубже понять реальное поведение передаточной функции, необходимой для описания динамики магнонов в системе. Это, в свою очередь, способствует решению задачи управления состояниями кубитов в квантовых системах.

Н.Р. Копылов, студ., рук. Ю.М. Носова (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СО СЛУЧАЙНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОБЪЕМНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Моделирование компонентов больших и сверхбольших интегральных схем является неотъемлемой частью их проектирования. Ввиду большой сложности изготовления схемы, подойти к проблеме удовлетворения требований путем перебора возможных вариантов не представляется возможным. Все компоненты заранее проходят теоретический расчёт, определяющий допустимые пределы работы компонентов. Для плёночных линейных элементов задача усложнена включением случайных переменных, вызванных неровностями поверхности, вынуждающих собирать большую статистику случайных вычислений и проводить её анализ. Более эффективные модели и вычисления позволят учитывать больше данных и быть ближе к реальным характеристикам пленочного прибора.

Целью данной работы является анализ сетки сопротивления с разными законами распределения для определения конечного значения сопротивления тонкой плёнки меж электродами конечной длины.

Для решения задачи был выполнен расчёт токов сетки с помощью высокоуровневого языка программирования “Python”, имеющего широкий диапазон функций, позволяющего проводить научные расчёты и отображать их с помощью графиков.

В результате выполненной работы были получены выводы о влиянии равномерности нанесения покрытий на конечные характеристики линейных элементов.

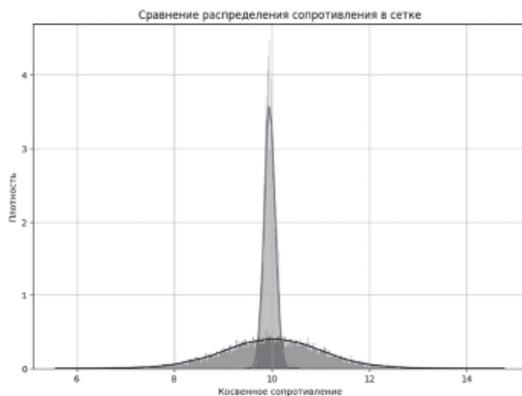


Рис. 1. Сравнение гистограмм отдельных элементов и сетки сопротивления

*Г.В. Смирнов, К.И. Качурин, Д.Р. Смиренский,
А.Е. Евсюков, Р.В. Щербаков, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОЛИРОВКА ПОДЛОЖЕК КРИСТАЛЛА SrTiO_3

Полировка подложек SrTiO_3 необходима для подготовки монокристаллов к дальнейшему использованию в технологии создания тонких плёнок.

Технологические процессы, применяемые предприятиями для шлифовки и полировки кристаллов кремния (Si) и арсенид галлия (GaAs) не подходят для обработки диэлектрических подложек, которыми является титанид стронция (SrTiO_3), так как они отличаются механическими и химическими свойствами.

В настоящей работе был сформирован принципиальный процесс механической обработки диэлектрических монокристаллических подложек титанида стронция (SrTiO_3).

В ходе работы были подобраны материалы с определенной дисперсностью, служащие абразивом для шлифовки и последующей полировки образцов, а именно: шлифовальные диски (MetCata MT-Alp от 1 до 0,05 мкм) и пасты марки Luxor (6,5 мкм, 3 мкм, 1 мкм, 0,5 мкм, 0,1 мкм). Шероховатость поверхности обработанных подложек измерялась на каждом этапе полировки с использованием метода атомно-силовой микроскопии.

*Н.А. Степанова, студ., А.В. Рамазанова, студ.,
О.И. Киселева, ассист.;
рук. проф. М.А. Боев (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛА «ТЕРМОМАТ» В КАЧЕСТВЕ ПАЗОВЫХ КЛИНЬЕВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Пазовые клинья предназначены для фиксации статорных и роторных обмоток электродвигателей электрических машин. Форма поперечного сечения пазового клина может быть квадрат, трапеция, прямоугольник или любая другая, при этом для изготовления используют сухую древесину, фторопласт, листовую фибру, гетинакс и стеклотекстолит и другие.

К сожалению, к пазовым клиньям, применяемым в электрических машинах сейчас, не достаточно четко сформулированы технические требования, однако этот элемент конструкции электрической машины несет на себе ряд функций, влияющих на качество работы этих машин.

В данной работе рассмотрено применение для пазовых клиньев нового материала который называют “Термомат”. Этот материал — терморасширяющийся препег на основе стекломата дискретно содержащего стекловолокно, которое пропитано эпоксидным связующим. В момент монтажа клиньев связующее находится стадии В реакции полимеризации. «Термомат» является пористым материалом и обладает впитывающей способностью, поэтому свойства конечного материала можно регулировать с помощью изменения степени набухания пропитывающей смолой.

В данной работе проведены исследования материала марки Теромат 1,2. Этот материал имеет исходную толщину 1,2 мм, номинальной поверхностной поверхностной плотностью 1850 г/см². В работе исследованы диэлектрические, механические, а так же тепловые характеристики названного материала. Основные показатели электрических свойств: тангенс угла диэлектрических потерь: $8,2 \times 10^{-3}$, относительная диэлектрическая проницаемость: $1,273 \times 10^6$. Материал “Термомат” относится к классу нагревостойкости В, но при температуре более 90°С, расширяется до 70% от первоначального объема, при этом заполняет существующие пустоты, обеспечивая плотную посадку обмоток электрической машины перед пропиткой.

К.С. Катков, студ.; рук. А.И. Тихонов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В ВИТОЙ ПАРЕ

Витая пара — одна из самых распространенных сред передачи данных в локальных сетях на сегодняшний день которая также нередко используется для связи в телекоммуникационных и компьютерных сетях

Напряжение $u(t, x)$ и ток $i(t, x)$ в витой паре описываются системой дифференциальных уравнений в частных производных [1]:

$$\begin{aligned} -u_x(t, x) &= R(x) \cdot i(t, x) + L(x) \cdot i_t(t, x), \\ -i_x(t, x) &= G(x) \cdot u(t, x) + C(x) \cdot u_t(t, x), \end{aligned}$$

где $R(x)$, $L(x)$, $G(x)$, $C(x)$ — первичные параметры витой пары, а нижние индексы используются для обозначения частных производных. На левом конце длинной линии имеют место краевые условия:

$$u(t, 0) = E(t); -i_x(t, 0) = G(0)E(t) + C(0)E_t(t),$$

на правом конце в режиме холостого хода и короткого замыкания, соответственно: $i(t, l) = 0$, $u_{xx} = 0$; $u(t, l) = 0$, $i_{xx}(t, l) = 0$. здесь l — длина линии, $E(t)$ — напряжение, подаваемое в линию. В начальный момент времени $u(0, x) = i(0, x) = 0$.

Решение рассмотренной выше системы уравнений осуществляется с помощью неявной разностной схемы. На каждом шаге по времени приходится решать систему алгебраических уравнений с шестидиагональной матрицей.

Для проведения численного эксперимента разработано веб-приложение с использованием фреймворка Solara [2].

Разработанное приложение позволяет анализировать поведение длинной линии при подаче на нее импульсов различной формы, влияние нагрузки на амплитуды и форму передаваемых импульсов, влияние на них конструктивных параметров кабеля, учитывать неоднородности.

Предполагается дополнить приложение средствами расчета первичных параметров с учетом геометрии скрутки, а также возможностью учета нелинейностей, возникающих из-за зависимости первичных параметров от частоты.

Приложение может быть внедрено в учебный процесс в качестве многофункциональной виртуальной лабораторной работы для повышения качества обучения студентов, а также послужить основой дальнейших исследований в этой области.

Литература

1. **Аполлонский, С.М.** Дифференциальные уравнения математической физики в электротехнике / С.М. Аполлонский. — СПб.: Питер, 2012. — 352 с.
2. Solara: [сайт] — URL: <https://solara.dev/> (Дата обращения: 25.11.2024).

Е.В. Лебедева, асп.;
рук. И.А. Овчинникова, д.т.н. (ОАО «ВНИИКП», Москва)

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ВОДОБЛОКИРУЮЩИХ ЛЕНТ ДЛЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Водоблокирующие материалы (ВБМ) применяются для защиты от продольного распространения влаги в кабельных изделиях различного назначения (кабелях силовых, сигнально-блокировочных, телефонных, для цепей управления атомных станций, оптических, кабелях для атомных электростанций и метрополитена, судовых и подводных оптических кабелях). При этом в Российской Федерации отсутствует производство указанных материалов, что ставит под угрозу срыва поставок кабельных изделий для нужд важнейших отраслей экономики и промышленности в случае прекращения поставок данных материалов из зарубежных государств.

В России применение водоблокирующих материалов в конструкциях кабельных изделий началось в начале 1998 года с завода «Москабель», где начали выпуск оптических кабелей с такими материалами. В настоящее время ВБМ применяется в огромном количестве марок совершенно разных типов кабелей, выпускаемых большим количеством кабельных предприятий.

В работе представлен анализ возможности применения отечественного сырья для изготовления ВБМ. Приведены отдельные подробности разработки отечественных ВБМ, в частности, основные функциональные параметры разрабатываемых материалов, в зависимости от применяемого сырья. Продемонстрированы отдельные результаты испытаний и исследований параметров материала, влияющих на эксплуатационные характеристики кабельных изделий, в которых он применяется, и критерии выбора показателей качества ВБМ.

Н.В. Куриленко, асп.;
рук. И.А. Овчинникова, д.т.н. (ОАО «ВНИИКП», г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛОВОЙ АПЕРТУРЫ МНОГОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Числовая апертура является одним из ключевых параметров многомодовых оптических волокон. Она определяется конструкцией волокна, технологией его изготовления и свойствами используемых материалов. Числовая апертура косвенно влияет на передаточные характеристики волокна, особенности соединения отрезков волокна в волоконно-оптических системах, а также на эффективность согласования с приемопередающим оборудованием.

Принцип работы применяемого оборудования для установления зависимости основан на методе углового сканирования в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60793-1-43 (методика 1) [1]. В этом методе проводится сканирование угловой диаграммы распределения интенсивности излучения (дальнее поле) на выходе оптического волокна.

Целью работы являлось экспериментальное выявление зависимости числовой апертуры многомодового оптического волокна от внешних воздействий, которые могут возникать в процессе эксплуатации.

В результате проведенной работы выявлена зависимость числовой апертуры от температурного диапазона эксплуатации оптических кабелей связи и от микроизгибов, возникающих в процессе эксплуатации. Полученные результаты будут приведены в докладе.

Данная работа позволяет прогнозировать возможные дополнительные негативные воздействия на передаточные характеристики оптического волокна и способствует повышению надежности оптического кабеля на стадии проектирования в зависимости от условий его эксплуатации.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 60793-1-43-2013 Волокно оптическое. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая Апертура.

М.З. Алиев, студент.;
рук. А.Г. Корякин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»);

КАБЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Погружные электрические двигатели, используемые в нефтяных скважинах для питания насосов, достигают не более 10 метров, рабочее напряжение достигает до 3300 В. Обмоточные провода для асинхронных электродвигателей в пропитанном состоянии эксплуатируются при температурах от 130°C до 180°C. Перед кабельной промышленностью была поставлена задача по разработке освоению производства обмоточных проводов и кабелей для эксплуатации при температурах 200°C и выше при одновременном воздействии минерального и синтетического масла и их эмульсий в воде нефтескважины [1]. Кроме повышенной температуры для обмоточных проводов используемых в обмотке погружных двигателей важным фактором является механическая прочность, изоляция провода должна быть герметичной. Обмотка находится в полностью закрытом пазе статора погружного электродвигателя.

Цель работы заключается в разработке, исследовании и внедрении проводов высокой нагревостойкости для маслозаполненных погружных электродвигателей и кабелей-удлинителей.

В работе были проведены исследования нагревостойких электроизоляционных материалов. Наиболее перспективными являются полиимидные пленки, но есть существенный недостаток, связанный с их термообработкой — невозможность получения монолитной изоляции. В связи с чем были разработаны комбинированные полиимид фторопластовые пленки, удачно соединяющие в себе основные достоинства полиимидов (высокую нагревостойкость, механическую и электрическую прочность) со способностью фторопластов образовывать сварные соединения.

Литература

1. Гантц В.Л., Гнедин А.А., Крупенин Н.В., Мещанов Г.И. Новые типы обмоточных проводов для погружных электродвигателей. Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. 1978, вып. 163, с. 14–18.

Ю.С. Басарев, студ.;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Одна из основных характеристик ферромагнетиков — температура Кюри, выше которой они теряют спонтанную намагниченность. Но на данный момент нет формулы, описывающей зависимость температуры Кюри от свойств материала ферромагнетика.

В этой работе проведён анализ методом машинного обучения данных ферромагнетиков [1, 2]. Из этих данных была составлена таблица с химическими веществами и их температурой Кюри. Также разработан метод для анализа этих данных, в которой получены данные критерия значимости материала для магнитных свойств.

Данное исследование позволит распределить химические элементы в порядке возрастания вероятности влияния на образование спонтанной намагниченности, что позволит проанализировать отдельные материалы и их соединения и рассчитывать температуру Кюри для соединений, которые ещё не были изучены или их изучение затруднено. Есть потенциал улучшения модели для определения зависимости от кристаллической решётки и других факторов, что в дальнейшем позволит предположить формулу, по которой можно будет определять температуру Кюри с большой точностью.

Литература

1. **Zhang Yibo, Suman Itani, Kamal Khanal**, GPTArticleExtractor: An automated workflow for magnetic material database construction // Journal of Magnetism and Magnetic Materials., 2024. № 597.
2. **Suman Itani, Yibo Zhang, Jiadong Zang** Northeast Materials Database (NEMAD): Enabling Discovery of High Transition Temperature Magnetic Compounds // arXiv preprint arXiv:2409.15675.

*А.А. Евсюков, Р.В. Щербаков, В.А. Катина, Д.С. Смиренский,
К.И. Качурин, И.К. Анимица, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ CuCrO_2 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Делафоссит CuCrO_2 является антиферромагнетиком с температурой Нееля $T_N = 24$ К. Несмотря на то, что зависимость антиферромагнитных свойств данного материала от температуры хорошо изучена, в настоящее время все еще не была получена температурная зависимость электронной структуры CuCrO_2 .

В данной работе с помощью методов теории функционала плотности (теории Кона-Шэма) с учетом корректировки Хаббарда (для учета фоновых и кулоновских взаимодействий между атомами кристаллической решетки) в приближении Дударева был произведен расчет температурных зависимостей параметра Хаббарда, положения уровня Ферми, электронной плотности состояний, зонной структуры, а так же других параметров делафоссита CuCrO_2 .

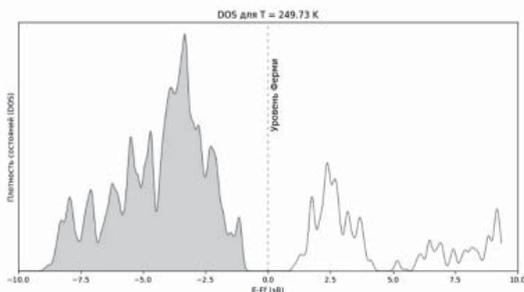


Рис. 1. Электронная плотность состояний CuCrO_2 при температуре 249.73 К

*Д.Р. Смиренский, К.И. Качурин, Г.В. Смирнов,
А.Е. Евсюков, Р.В. Щербаков, И.К. Анимица, студенты;
рук. А.В. Матасов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕРИВАТОГРАФА Q 1500 D СИСТЕМЫ «PAULIK-PAULIK-ERDEI»

Дериватографический анализ включает в себя три метода: термогравиметрический анализ, который позволяет измерять изменение массы исследуемых образцов с увеличением температуры дифференциальный термический анализ, который позволяет измерить выделенную или поглощенную энергию в процессе нагрева или охлаждения образцов и дифференциальный термогравиметрический анализ, который, по сути, представляет собой производную по температуре от первого анализа.

В сумме данные методы позволяют детально изучать ход, кинетику, каким именно образом проходит химическая реакция.

Для современных исследований, возможности точной обработки данных требуется модернизация прибора в рамках автоматизации измерений.

В ходе работы было выяснено, что для модернизации нужен блок АЦП, который состоит из трех модулей:

- 1) Мезонины Н-27х конкретно две его модификации, а) Н-27Т — измеритель милливольтных сигналов; б) Н-27U-20 измеритель напряжения.
- 2) LTR27 — модуль АЦП с конфигурируемым числом и типом гальваноизолированных измерительных каналов
- 3) LTR-EU-2 — малогабаритное многофункциональное конфигурируемое гальванически изолированное внешнее устройство

С помощью этих трех модулей, обеспечивается, вся структура оцифровки данной установки.

А.Д. Мавродий, студ.;
рук. Т.И. Малашенко, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Водород оказывает огромное влияние на механические свойства металлов и сплавов. Взаимодействие водовода с металлом может приводить как к отрицательным последствиям (водородное охрупчивание, водородное растрескивание и индуцированное водородом разрушение), так и положительным (пластифицирование металлов). Даже при концентрации порядка сотых долей процента влияние водорода может быть очень существенным. Огромный интерес представляет изучение влияния водорода на механические свойства функциональных материалов в условиях высокоэнергетических внешних воздействий, которые реализуются как на стадии обработки металлов и изготовления из них различных изделий, так и на стадии их эксплуатации. При этом в металлах реализуется высокоскоростная пластическая деформация. Особый интерес представляет высокоскоростная деформация металлов, в которых концентрация водорода может достигать огромных значений. К ним относятся палладий, ванадий, ниобий, тантал и ряд других металлов. Анализ неупругого поведения таких металлов, содержащих высокую концентрацию водорода, был выполнен в рамках теории динамического взаимодействия дефектов (ДВД) [1–4]. Механизм диссипации в условиях высокоскоростной деформации заключается в необратимом переходе энергии внешних воздействий в энергию поперечных колебаний дислокаций в плоскости скольжения. Проведенный анализ позволил получить аналитическую зависимость динамического предела текучести наводороженных металлов от концентрации водорода для различных случаев высокоскоростной пластической деформации.

Литература

1. **Малашенко В.В.** Коллективное преодоление дислокациями точечных дефектов в динамической области // ФТТ. — 2014. — Т. 56. — № 8. — С. 1528–1530.
2. **Малашенко В.В.** Динамическая неустойчивость дислокационного движения при высокоскоростной деформации кристаллов с высокой концентрацией точечных дефектов // ФТТ. — 2015. — Т. 57. — № 12. — С. 2388–2390.
3. **Малашенко В.В.** Влияние фононной вязкости и дислокационного взаимодействия на скольжение пары краевых дислокаций в кристалле с точечными дефектами // ФТТ. — 2006. — Т. 48. — № 3. — С. 433–435.
4. **Малашенко В.В.** Коллективное взаимодействие точечных дефектов с движущейся винтовой дислокацией // ФТТ. — 1997. — Т. 39. — № 3. — С. 493–494.

Секция 24

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

Ф. Обоня, студ.; рук. И.В. Станкевич, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

Шахтная подъемная машина (ШПМ) представляет собой сложное устройство, предназначенное для подъема полезных ископаемых, перемещения людей и грузов. В докладе рассматривается новая шахтная подъемная машина для рудника «Таймырский» ПАО «Норильский Никель», использующая двухскиповую схему подъема, при которой одновременно поднимается один контейнер для полезных ископаемых (скип) и опускается другой. В состав ШПМ входит несколько подсистем, основными из которых являются привод, тормозные устройства и стволовая сигнализация. Все эти компоненты объединены в систему автоматического управления и контроля [1].

Цель данной работы заключается в разработке алгоритмов работы, систем визуализации и архивации для ШПМ на базе российских контроллеров «Regul» и SCADA-системы «Альфа платформа». Основные функции алгоритмов включают управление приводом, отслеживание скорости и положения скипов для обеспечения безопасного движения. Управление системой осуществляется как вручную, так и автоматически в зависимости от режима работы. Реализация управления производится через пульты машиниста, на которых расположены элементы управления, индикации и экраны визуализации. В системе также предусмотрены защитные механизмы, отключающие её при возникновении неисправностей или отклонениях от нормальных рабочих параметров. Все параметры работы системы фиксируются в базе данных для анализа и контроля.

Результатом работы является разработанная система управления и контроля ШПМ, включающая в себе алгоритмы управления приводом во всех режимах работы, визуализацию процессов и систему архивации данных.

Литература

1. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок / В.Р. Бежок, В.Г. Калинин, В.Д. Коноплянов, Е.М. Курченко, Г.Д. Трифанов, А.П. Кошкин, Д.И. Шишнянников; под общ. ред. В.А. Корсуна, Г.Д. Трифанова. — 4-е изд., перераб. и доп. — Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 616 с., с ил.

Е.А. Рябых, асп.;
рук. Р.А. Малеев, к.т.н., доц.
(Московский Политехнический Университет, Москва)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

С каждым годом количество энергопотребителей на борту транспортного средства (ТС) значительно увеличивается, тем самым подталкивая производителей электрооборудования и генераторных установок (ГУ), к повышению мощности, что приводит к увеличению массогабаритных показателей. Поэтому мощность современных ГУ на ТС составляет не менее 2 кВт [1]. Кроме того, серьезной проблемой при эксплуатации ТС является значительное время работы при холостых оборотах ДВС, когда ток, вырабатываемый ГУ, значительно меньше максимальной величины [2]. Характерной особенностью разработанного вентильного индукторного генератора является применение постоянных магнитов, расположенных непосредственно в пазах ротора. Применение постоянных магнитов позволяет не только увеличить мощность генератора, но и повысить его удельные показатели [3].

Цель работы состоит в разработке математической имитационной модели вентильного индукторного генератора.

Научной новизной является предложенная математическая модель, которая позволит: делать подбор постоянных магнитов по параметрам материала и размеров, проводить оптимизацию размеров и параметров вентильного индукторного генератора, уменьшить паразитное рассеяние магнитного потока, за счет чего увеличить мощность генератора и повысить КПД.

В результате разработанной математической модели вентильного индукторного генератора появляется возможность проводить оптимизацию размеров и параметров ГУ, увеличивать удельную расчетную мощность, уменьшая габариты и массу, а, следовательно, и себестоимость изготовления, достигнув существенного технико-экономического эффекта.

Литература

1. **Рябых Е.А., Малеев Р.А., Акимов А.В.** Вентильные индукторные генераторы для транспортных средств специального назначения // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 17, № 3. с. 287–294.
2. **Рябых Е.А., Малеев Р.А., Акимов А.В.** К вопросу о бесконтактных генераторах переменного тока на подвижных объектах // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 18, № 1. с. 53–62.
3. **Е.А. Ryabikh, R.A. Maleev, Y.M. Shmatkov.** “Simulation of a Single-pole Generator with Permanent Magnets”, Proceedings — 2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), pp. 61–66.

Е Яинт Мьят, студ., Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАШИННО-ЭЛЕКТРОННАЯ ГЕНЕРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА АВИАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ВЫХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ

В работе приводятся результаты поискового исследования одного варианта машинно-электронной генерирующей системы 2-го типа (МЭГС-2) [1], которая характеризуется выполнением требований по стабилизации выходных напряжения и частоты при изменяющейся частоте вращения приводного вала с кратностью $K_n = n_{max} / n_{min}$ до 2,5. Кроме того, используемый при синтезе МЭГС-2 многоканальный принцип преобразования энергетического потока обеспечивает возможность: а) получения повышенных значений её выходной мощности при использовании реально располагаемых транзисторов ограниченной единичной мощности; б) сохранения заданного качества выходного трёхфазного напряжения при несимметричной 3-х фазной нагрузке. Эти две возможности могут быть полезно использованы не только при создании МЭГС-2 авиационного применения, но и при синтезе инверторов напряжения повышенной мощности для солнечных электростанций [2]. Рассматриваемый вариант МЭГС-2 характеризуется интегральным исполнением электромашинной и электронной частей. Каждый фазный блок (ФБ_j, где индекс $j=A, B, C$) выполнен в виде отдельной 3-х фазной обмотки синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов, нагруженной на 3-х фазный выпрямительный мост (ВМ_j) с корректором входного коэффициента мощности (КВКМ_j). Таким образом, по электропитанию ФБ_j выполняются гальванически развязанными. К выходным выводам постоянного тока ВМ_j подключены шины питания однофазного инвертора напряжения (ОИН_j) по мостовой схеме с ШИМ-алгоритмом управления его транзисторами. При необходимости ВМ_j+КВКМ_j, так же, как и ОИН_j могут быть выполнены в M -канальном исполнении. В рассматриваемом варианте только лишь ОИН_j выполнены с числом $M=2$ (обозначаются они как 2-ОИН_j). Это решение позволяет улучшить спектральный состав их выходного напряжения и таким образом снизить ресурсные затраты на его фильтрацию. С этой же целью функция регулирования выходного напряжения МЭГС-2 возлагается на ВМ_j+КВКМ_j. Изложен алгоритм системного проектирования такого варианта МЭГС-2 и приведены некоторые результаты компьютерного моделирования одного её варианта.

Литература

1. Патент РФ на изобретение RU № 2 806 899. Машинно-электронная генерирующая система со стабилизацией напряжения и частоты / Авторы: Г.С.Мыцык, Мье Мин Тань. Опубл. 08.11.23 г. в БИ № 32.
2. Патент РФ на изобретение RU №2 784 845. Трёхфазный инвертор напряжения повышенной мощности для солнечной фотоэлектрической станции / Авторы: Мыцык Г.С., Мье Мин Тант. Опубл. 30.11.22 г. в БИ № 30.

*Сор Су Мэй О, Е.М. Пацин, студенты;
рук. Мье Мин Тант, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

УПРОЩЕННЫЕ РЕШЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С КОРРЕКТОРОМ ВХОДНОГО КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

В представленной работе применительно к выпрямительным устройствам (ВУ) рассматриваются варианты решения одной из задач, составляющих актуальную проблему энергосбережения. Традиционные решения ВУ являются нелинейной нагрузкой, которая характеризуется искажениями потребляемого из сети тока, неблагоприятно влияющими на остальные потребители [1]. В технической литературе этот факт определяется как плохая электромагнитная совместимость (ЭМС) таких ВУ. Для решения этой задачи (ЭМС) в конце 80-х годов прошлого века для однофазных ВУ (О-ВУ) было предложено дополнительное устройство, названное корректором входного коэффициента мощности (КВКМ). После этого само О-ВУ стало обозначаться как О-ВУ с КВКМ (или просто ВУ+КВКМ). В последнее время эта задача (ЭМС) начала решаться и применительно к трёхфазным ВУ (Т-ВУ) [2]. Представленная работа посвящена исследованию возможностей ещё одного направления синтеза с улучшенной ЭМС применительно именно к этому классу устройств — Т-ВУ. Предлагаемые решения реализуют не следящий (традиционный), а программный алгоритм управления ключевыми элементами, который более прост в технической реализации. Кроме того, новые решения обладают большими возможностями в повышении уровня преобразуемой мощности. Правомерность проектного замысла подтверждена серией численных экспериментов, выполненных на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ) в среде *OrCAD*. Показано, что увеличение преобразуемой мощности и одновременно улучшение коэффициента мощности достигается за счет увеличения числа каналов M . С его увеличением уменьшаются искажения потребляемого тока и выпрямленного напряжения (при тех же значениях параметров нагрузки). Одновременно уменьшаются и токовые нагрузки на УЭК (относительно выходной мощности ВУ).

Литература

1. **Мызык Г.С.** О показателях качества и особенностях построения современных трансформаторно-выпрямительных устройств с многоканальным преобразующим трактом. *Промышленная энергетика*, 2021, № 3. — С. 2–12.
2. **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.

Ней Мью Ту, студ., Г.С. Мыцык, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧАМИ ТРЁХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Особенностью авиационного применения трёхфазных инверторов напряжения (ТИН) являются требования: 1) пониженного значения их удельной массы (при ограничениях по КПД); 2) работоспособности его на несимметричную трёхфазную нагрузку (с допустимой амплитудной и фазовой её не симметрией) при сохранении заданного качества выходного напряжения. Первая задача решается, прежде всего, снижением массы выходных фильтров ТИН за счёт использования широтно-импульсной модуляции (ШИМ) при формировании его выходного напряжения по синусоидальному (или трапецеидальному) закону (при тактовой частоте ШИМ в десятки кГц). Одним из простейших средств решения второй задачи является использование нулевой точки источника питания (с ЭДС E_n), образованной средней точкой конденсаторного делителя напряжения. Известны также другие средства решения этой задачи, описанные, в частности, в [1]. Одно из таких решений содержит 4-ю стойку транзисторов (СТ) и автотрансформатор, работающий на утроенной частоте по отношению к выходной частоте f_2 . В работе приводятся результаты исследований решения этой задачи с 4-й СТ (с соответствующим алгоритмом их управления), но без автотрансформатора [2]. Рассматривается вариант применения ТИН в структуре с повышающим конвертором, на который возлагается также и функция стабилизации выходного напряжения такого (двухзвенного) преобразователя (ДЗП) при возмущающих воздействиях по напряжению питания и по току нагрузки. Приводятся взаимосвязи между значениями входных и выходных параметров ТИН, которые необходимы при системном проектировании ДЗП. Показано также, что с целью минимизации массогабаритных показателей выходного Г-образного LC фильтра при системном проектировании целесообразно учитывать его волновое сопротивление, поскольку его значение влияет также на жёсткость внешней характеристики, на токовую нагрузку транзисторов ТИН, на его КПД и на массогабаритные показатели ТИН в целом. Задачи решаются на основе имитационного компьютерного моделирования (ИКМ).

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 376 с.
2. **Патент РФ** на изобретение №2661938. Способ управления трёхфазным инвертором напряжения по мостовой схеме // Авторы: Г.С. Мыцык, К.А. Воронцов, Хлаинг Мин У. Оpubл. 23.07.2018 Бюл. № 21.

*А.М. Руденко, студ.; А.Д. Купцов, асп.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доцент
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

СИСТЕМА КОМБИНИРОВАННЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ

Тонкопленочные покрытия — основа наноэлектроники, определяющая характеристики микросхем, сенсоров, дисплеев и других устройств. С уменьшением размеров деталей требуется высокая точность, однородность и равномерность покрытий. Одним из ведущих методов для нанесения тонких (0,1–1,0 мкм) пленок является магнетронное распыление в вакууме [1].

Целью работы является модернизация технологической оснастки для обеспечения равномерного покрытия и возможности регулирования скорости осаждения без разгерметизации оборудования.

Для проектирования и модернизации технологической оснастки выбрана технологическая оснастка установки МВТУ-11-1МС [2]. Важным параметром является расстояние от источника до подложки, влияющее на качество покрытия (скорость осаждения обратно пропорциональна квадрату этого расстояния [3]). Система оснащена вращательным и поступательным приводом. Уменьшение расстояния от источника до подложки с помощью поступательного движения подложкодержателя ускоряет процесс осаждения. Для достижения высокой равномерности покрытия применяется вращение подложкодержателя. Скорость вращения можно варьировать от 0,5 до 50,0 об/мин.

Разработка такой конструкции для вакуумного оборудования, объединяющая вращательное и поступательное движение подложкодержателя в рабочем пространстве вакуумной камеры, обеспечивает управление скоростью осаждения и получение равномерного покрытия.

Литература

1. **Кузьмичёв А.И.** Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. К.: Аверс, 2008. 244 с.
2. **Егорова С.И., Купцов А.Д., Сидорова С.В.** Влияние ионно-плазменной обработки на структуру и свойства поверхностей // Сб. трудов НТК: МИКМУС, 2021, С. 534–540.
3. **Панфилов Ю.В.** Электронные, ионные и плазменные технологии. Часть I. Конспект лекций // Наноинженерия. 2012. № 4. С. 14–27.

М.А. Чижов, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИРОСКОПА НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Гироскопы с механическим носителем кинетического момента и электрическим приводом или электромеханические гироскопы: с поплавковым подвесом ротора, динамически настраиваемые гироскопы и другие — широко используются в приборах и системах ориентации, стабилизации, навигации и управления движением автономных объектов. Основной тип электропривода таких гироскопов гистерезисный [1–3]. В настоящее время также разрабатываются и используются гироскопы на основе иной физической природы: микромеханические, волоконно-оптические и другие. Вместе с тем долгосрочные научно-технические прогнозы показывают, что электромеханические гироскопы, так же как и гироскопы, основанные на иных физических принципах, будут продолжать успешно применяться в указанных приборах и системах в длительной перспективе [3].

Для проектирования гистерезисного электропривода были заданы габаритные размеры для его размещения в составе навигационной системы, параметры электропитания и нагрузки, рассматривались возможности и варианты применения новых хромокобальтовых сплавов для ротора.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в том числе АО «НПЦ АП им. академика Н.А. Пилюгина», Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» — «НИИПМ им. академика В.И. Кузнецова». Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ литературных источников по гистерезисному электроприводу, по методам и средствам математического моделирования и проектирования этого типа электропривода и его элементов;
- проектный и поверочный электромагнитные расчёты гистерезисного электродвигателя для привода гироскопа навигационной системы;
- определение структуры, выбор элементной базы электронного преобразователя, моделирование и расчёт преобразователя и его элементов.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований и практических разработок профильных организаций.

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. **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. **Пешехонов В.Г.** Перспективы развития гироскопии // Гироскопия и навигация. Том 28. № 2 (109). 2020.

В.А. Васин, студ.; Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О СПОСОБЕ ПЕРЕДАЧИ ИМПУЛЬСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С НЕПОДВИЖНОЙ ЧАСТИ (СО СТАТОРА) НА ВРАЩАЮЩУЮСЯ ЧАСТЬ (НА РОТОР)

Одним из перспективных решений бесконтактных машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) со стабилизированным выходным напряжением постоянного тока (класса МЭГС-1 [1]) являются варианты, построенные на основе вентильных магнитоэлектрических генераторов (ВМЭГ). При этом возможны, по крайней мере, два варианта исполнения такой системы: 1) одномашинный и 2) двухмашинный [1]. В докладе рассматриваются некоторые особенности построения 2-го варианта, как в большей степени удовлетворяющего требованиям ресурсосбережения. МЭГС-1 здесь выполняется в виде двух электрических машин, расположенных на общем валу: основного синхронного генератора (ОСГ) с электромагнитным возбуждением и вспомогательного — ВМЭГ (ВВМЭГ), выполненного по обращённой конструкции — с индуктором на статоре. Регулятор тока возбуждения (РТВ) располагается на роторе и получает электропитание от ВВМЭГ. Максимальная его мощность рассчитывается при минимальной частоте вращения приводного вала — n_{min} . При максимальной частоте вращения — n_{max} она будет примерно в $K_n = n_{max}/n_{min}$ раз меньше. Одной из особенностей такой МЭГС-1 является не стандартное решение задачи стабилизации выходного напряжения. Контур отрицательной обратной связи (КОСС) по выходному напряжению МЭГС-1 и управляемый им модулятор ширины импульсов (МШИ) расположены на статоре, а совместно сформированные этими узлами управляющие импульсы на тактовой частоте f_t (порядка 10÷20 кГц) с регулируемой скважностью S передаются оптическим путём (с промежуточным усилением) на управляющий вход транзистора РТВ. В качестве светоизлучателя (на статоре) используется инфракрасный излучающий диод (СИД), а в качестве светоприёмника (на роторе) — кремниевый фотодиод (ФД) и транзисторная оптопара (ТОП). СИД и ФД располагаются соосно по оси вала и разделяются между собой небольшим зазором (порядка 1мм). Для проверки частотных свойств оптического канала передачи сигнала приводятся результаты экспериментального исследования упрощённого его макета-прототипа.

Литература

1. **Патент РФ на изобретение №2812277.** Бесконтактный стабилизированный по напряжению синхронный генератор. Автор: Г.С. Мыцык, опубл. 29.01.24 г.
2. **Иванов В.И. и др.** Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: И 20. Справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксёнов, А.М. Юшин; Под. ред. Н.Н. Горюнова. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 184 с.

Н. Абдугалиев, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Гистерезисные электродвигатели [1, 2] традиционно применяются в прецизионном электроприводе в гироскопических системах всех классов точности, в том числе сверхвысокой точности, в системах автоматики и управления, факсимильной связи, получения чистых и сверхчистых веществ [2], в технологических машинах химической и текстильной промышленности [2, 3] и других. Новые перспективы и актуальные аспекты во многом связаны с исследованием и совершенствованием систем управления гистерезисными электродвигателями в электроприводах.

Развитие систем управления гистерезисными электродвигателями, наряду с совершенствованием их конструкций, применением новых материалов роторов, новых методов и способов их обработки, обеспечивает наиболее полное использование потенциальных возможностей этого класса электродвигателей и электроприводов и повышение их энергоэффективности. Важное направление развития систем управления гистерезисными электродвигателями связано с управлением ими с использованием импульсного намагничивания ротора импульсами тока в цепях статора.

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 вариантов реализации систем амплитудного и импульсного управления гистерезисными электродвигателями;
- математическое моделирование и исследование указанных систем управления электродвигателями такого типа в составе электропривода;
- расчётно-теоретическое 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. Коротеева, Е.Ю. Коротеева.** Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М.: Инфра-М. 2015. 288 с.

Д.Д. Городничев, студ.;
рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕМЕНТОВ КРЫЛА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Важной частью конструкции атмосферных летальных аппаратов является механизация крыла. Она состоит из ряда подвижных элементов, которые позволяют осуществлять регулировку и контроль полёта. Одними из таких элементов являются закрылки, обеспечивающие возрастание несущей способности крыла. Эта способность, в частности, позволяет летательным аппаратам перемещаться на небольших скоростях без сваливания. Работа закрылков даёт возможность существенно снизить скорость посадки и взлёта без опасности для аппарата [1]. К оборудованию, устанавливаемому на летательных аппаратах, предъявляются высокие требования по качеству, надёжности и массогабаритным показателям. Кроме того, в настоящее время усиливается тенденция всё большей электрификации самолёта с необходимым оснащением всех его систем электроприводами и с перспективой создания полностью электрифицированного самолёта.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями дальнейшей электрификации элементов для обеспечения механизации крыла самолётов. Для решения поставленных в работе задач использовалась литература [1–3]. Личный вклад автора заключается в следующем:

- обзор и анализ литературы по функциональным схемам и элементам механизации крыла самолёта, анализ особенностей конструкции, схемных решений и характеристик элементов электромеханического блока;
- выбор структуры и компонентной базы электронного преобразователя электромеханического блока и расчёт электронного преобразователя;
- проектный электромагнитный расчёт гистерезисного электродвигателя для выбранного варианта электропривода элементов крыла;
- поверочный электромагнитный расчёт и расчёт основных режимов работы и управления приводного гистерезисного электродвигателя.

Перспективы использования результатов обусловлены тенденцией всё большей электрификации самолёта с необходимым оснащением всех его систем, в том числе систем механизации крыла, электроприводами и тенденцией создания полностью электрифицированного самолёта.

Литература

1. **Корнеев В.М.** Конструкция и основы эксплуатации летательных аппаратов. Ульяновск: УВАУ ГА(и). 2009. 130 с.
2. **Остриров В.Н.** Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. М.: Издательский дом МЭИ.
3. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ. 1991. 128 с.

*Д.Н. Петухов, студент,
К.А. Воронцов, ст. преподав. -ль (НИУ «МЭИ»)*

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МАШИННО-ЭЛЕКТРОННОЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Известное многообразие технических решений машинно-электронных генерирующих систем (МЭГС) удобно рассматривать в рамках разграничения их на два класса — на МЭГС-1 (с выходом напряжения постоянного тока) и МЭГС-2 (с выходом напряжения переменного тока) [1]. В настоящей работе рассматривается вариант МЭГС-1, предложенный в [2]. Система содержит асинхронную машину (АМ) с короткозамкнутой роторной обмоткой и два блока конденсаторов — БК1 и БК2, подключённых к якорной обмотке (ЯО) АМ, которая работает на нагрузку через основную трёхфазный выпрямитель (ОТВ). Конденсаторы БК1 (с нерегулируемой ёмкостью) подключены к ЯО непосредственно, а их ёмкость рассчитывается на самовозбуждение АМ при минимальном токе её нагрузки. Ёмкость БК2 регулируется импульсным (широтным) способом (ШР) и рассчитывается на самовозбуждение АМ при максимальном токе нагрузки. Режим плавного изменения ёмкости БК2 обеспечивается путём плавного изменения скважности работы трёхцепевого переключателя (ТЦП) переменного тока, выполненного на базе 2-го 3-х фазного выпрямителя (ВТВ). Таким образом, отличительной особенностью рассматриваемого варианта МЭГС-1 является импульсный способ управления самовозбуждением АМ (с целью стабилизации выпрямленного напряжения на нагрузке). Предварительно проведённое исследование этого варианта МЭГС-1 (на основе имитационного компьютерного моделирования — ИКМ) позволило выявить следующий его недостаток — большие броски тока через управляемый ключевой элемент в ТЦП при его включениях (с частотой, например, порядка 5–10 кГц). Для его ослабления последовательно с конденсаторами БК2 включены дроссели, ограничивающие ток — ДОТ (с незначительной индуктивностью). Однако, эта мера повлекла за собой вторую проблему, связанную с необходимостью утилизации накапливаемой в ДОТ энергии к моментам выключения ТЦП. Для решения этой задачи был введён дополнительный трёхфазный выпрямительный мост, своим входом подключённый к силовому входу ВТВ, а выходом — параллельно выходным выводам ОТВ). Приведены результаты экспериментального исследования этого варианта МЭГС-1.

Литература

1. **Мыцык Г.С.** О современных решениях машинно-электронных генерирующих систем для малой энергетики и подвижных объектов. *Электричество*, 2020 г., № 7. — С. 22–32.
2. **Патент РФ на изобретение № 2709101 / Стабилизированный по напряжению генератор на основе асинхронной машины с короткозамкнутой роторной обмоткой // Авторы: Г.С. Мыцык, Мье Мин Тант. Оpubл. 16.12.2019 Бюл. № 35.**

И.В. Подъяблонский, студ.;
рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННОГО СИНХРОННОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Гистерезисный электропривод, благодаря своим достоинствам, широко применяется в прецизионных технологических и производственных комплексах. К таким комплексам, в частности, относятся устройства и системы управления движением и автономной навигации летательных аппаратов различных классов, технологические линии по сепарированию гранулированных, жидких и газообразных смесей, получению чистых и сверхчистых веществ [1, 2]. Кроме этого, машины по формованию, в том числе непрерывному и скоростному формованию, производству и переработке натуральных, искусственных и синтетических волокон и нитей и др. [2, 3].

Исследуемый базовый вариант прецизионного гистерезисного электропривода предназначен для работы в синхронном режиме с управлением электродвигателем посредством подачи импульсов тока в обмотку его статора, чем реализуется соответствующее импульсное намагничивание ротора. Электропитание электродвигателя в составе электропривода обеспечивает статический преобразователь с трёхфазным инвертором.

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 литературы по гистерезисным электродвигателям и электроприводам, по расчётно-теоретическим исследованиям и проектированию гистерезисного электропривода и его основных элементов;
- проектный и поверочный электромагнитные расчёты исследуемого варианта прецизионного гистерезисного электродвигателя;
- выбор структуры и элементной базы статического преобразователя и его составных элементов, моделирование и расчёт преобразователя.

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. Коротеева, Е.Ю. Коротеева.** Технология и оборудование для получения волокон и нитей специального назначения. М.: Инфра-М. 2015. 288 с.

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. Данный подход пока возможен в малой региональной авиации, где мощности турбовинтовых двигателей (ТВД) не превышает 2 МВт [1].

В докладе представлены результаты расчетов и исследований электродвигателя мощностью 500 кВт, предназначенного для этой цели.

Для минимизации массы и габаритов был выбран синхронный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов.

С целью повышения надежности электродвигателя в случае обрыва фазы используется шестифазная схема обмотки статора. Электродвигатель питается от двух трехфазных инверторов. Каждая трехфазная обмотка питается от отдельного инвертора.

Были произведены исследования влияния конструкции ротора на выходные характеристики электродвигателя: рассмотрены обращенная конструкция ротора (конструкция с внешним ротором) и классическая конструкция с магнитами внутри пакета листов стали ротора.

Применительно к обмотке статора были проведены исследования влияния двух различных шестифазных систем: асимметричной (с углом смещения второй трехфазной обмотки на 30 эл. град.), симметричной (с углом смещения второй трехфазной обмотки 180 эл. град.). Методом конечных элементов в программе *Ansys EM* были проведены исследования изменений параметров электродвигателя при обрыве фазного провода одной или двух фаз.

При проектировании с целью снижения потерь в обмотках и массы была выбрана жидкостная система охлаждения и проведен тепловой расчет.

Оптимальный вариант электродвигателя выбирался исходя из сравнения: КПД, тока в фазе, плотности тока, потери в активных частях машины, температуры установившемся режиме работы.

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.

А.А. Жигadlo, асп.; рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВОГО ПРОБОЯ В СИСТЕМУ «УМНЫЙ ДОМ»

Дуговой пробой последовательного типа в электрических сетях уменьшает ток, протекающий в линии, из-за чего автоматический выключатель не способен его обнаружить и отключить. При этом дуговой пробой оказывает термическое воздействие, что может привести к возгоранию.

В связи с высокой пожарной опасностью электроустановки жилых и общественных зданий должны оборудоваться устройством защиты от дугового пробоя — УЗДП [1]. Основной частью любого УЗДП является блок обнаружения дугового пробоя. В настоящее время отсутствует стандартизированная методика обнаружения дугового пробоя, что связано с вероятностной природы дуги.

Были проведены исследования по идентификации дугового пробоя по высшим гармоникам. Были получены следующие результаты: при возникновении дуги наблюдается резкий рост амплитуд четных гармоник и их изменение во времени (рисунок 1). При этом в нормальном режиме уровень четных гармоник мал. В связи с полученными результатами был разработан алгоритм выявления дугового пробоя по изменению амплитуды 2-й гармоники в смежных периодах.

Интеграция алгоритма в ПО микроконтроллера системы «Умный дом» позволит внедрить в систему устройство защиты от дугового пробоя.

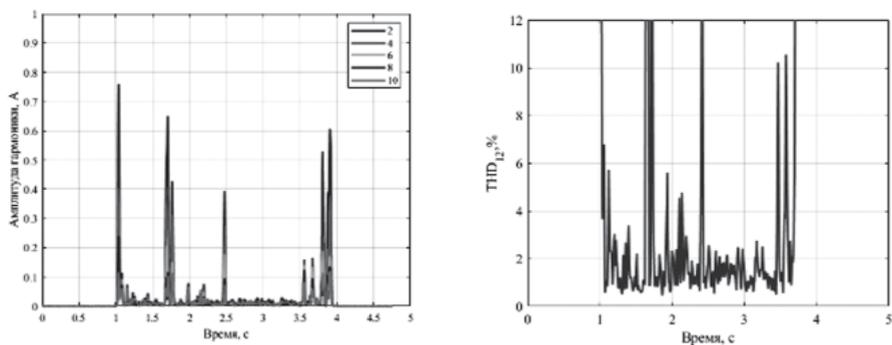


Рис. 1. Результаты экспериментов [2]

Литература

1. **Постановление Правительства РФ № 510** «О внесении изменения в пункт 32 Правил противопожарного режима в Российской Федерации: от 30 марта 2023 г». — М., 2023.
2. **Рашевская М.А., Куликов А.И., Дубинин Д.В., Кутейников П.Д.** Метод распознавания последовательного дугового пробоя в низковольтной сети / М.А. Рашевская, А.И. Куликов, Д.В. Дубинин, П.Д. Кутейников // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. — 2024. — № 2. — С. 47–54. — DOI 10.24160/1993-6982-2024-2-47-54. — EDN ZYVOWB.

В.А. Воробьева, студ.;

рук. В.С. Добуш, к.т.н., доц.

(Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург)

ТОКИ ПОДШИПНИКОВ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

При определенных условиях эксплуатации электродвигателей через их подшипники могут протекать токи. Такие токи негативно влияют на подшипники и приводят к их ускоренному износу. Проблема подшипниковых токов актуальна как для крупных промышленных двигателей мощностью более 400 кВт (могут возникать низкочастотные токи), так и для двигателей любой мощности, используемых совместно с преобразователями частоты (возникают высокочастотные токи). В докладе основное внимание уделено высокочастотным токам.

Высокочастотные токи в подшипниках возникают, когда синфазное напряжение, индуцирующееся на валу, становится достаточным для преодоления сопротивления подшипников и остальных частей контура протекания тока. Для моделирования процесса протекания токов и определения предельных напряжений в конкретном случае рационально использовать схемы замещения. Схемы замещения представляются в виде соединения сопротивлений различных частей контуров протекания тока, носящих, в основном, емкостной характер. В работе авторами проведен ряд экспериментов на асинхронном двигателе мощностью 5,5 кВт с целью определения параметров схемы замещения.

Также, при сравнении пуска 1,5 кВт-го двигателя с номинальной скоростью на холостом ходу напрямую от сети и от преобразователя частоты обнаружено, что и в двигателях малой мощности на валу можно зафиксировать низкочастотное напряжение, но его значение на порядок меньше высокочастотных колебаний.

На сегодняшний день существуют различные методы борьбы с подшипниковыми токами, однако их недостатками являются дополнительные экономические затраты и усложнение конструкции двигателя, из-за чего на практике этим часто пренебрегают, и проблема остается актуальной.

Литература

1. **Мухторов А.Ф., Гафуров М.О., Норбоев А.А.** Асинхронные машины, возникающие дефекты и их профилактика // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* — 2020.
2. **Васильев Б.Ю., Козярук А.Е.** Подшипниковые токи приводных машин в электроприводах с полупроводниковыми преобразователями // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика.* — 2016. — № 3. — С. 93–100.
3. **Chen S., Lipo T.A.** Circulating Type Motor Bearing Current in Inverter Drives // *IEEE Industry Applications Magazine.* — 1998. — P. 32–38.

М.М. Абасова, асп.;
рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ САМОЛЕТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ АЭРОПОРТОВ

С переходом к устойчивым технологиям в авиации электрические самолеты становятся важным элементом будущего воздушного транспорта. Их внедрение может оказать значительное влияние на работу аэропортов, создавая как новые возможности, так и определенные вызовы [1].

Рассмотрены основные преимущества электрических самолетов:

- снижение шумового загрязнения, что приводит к уменьшению конфликтов с местными жителями и расширению операционных часов аэропортов, что, в свою очередь, увеличит их пропускную способность;
- снижение эксплуатационных расходов благодаря меньшему потреблению топлива и снижению затрат на техническое обслуживание. Это может сделать аэропорты более привлекательными для авиакомпаний, стремящихся к оптимизации своих расходов;
- появление новых рабочих мест и повышение квалификаций сотрудников. Аэропорты должны будут адаптировать свои процедуры безопасности и обслуживания, чтобы соответствовать новым требованиям, связанным с электрическими воздушными судами [2].

Между тем существуют и вызовы, связанные с внедрением электрических самолетов. Ограниченная дальность полета и необходимость в развитии зарядной инфраструктуры могут стать препятствием для их широкого распространения. Кроме того, необходимо учитывать вопросы экологии, связанные с производством и утилизацией батарей.

Электрические самолеты представляют собой значительный шаг к устойчивому развитию авиации. Их влияние на работу аэропортов будет многогранным, требуя как адаптации существующих процессов, так и внедрения новых технологий. Успешная интеграция электрических самолетов в авиационную инфраструктуру может привести к более эффективной и экологически чистой авиации в будущем [3].

Литература

1. **Adacher L., Flamini M., Romano E.** Airport ground movement problem: minimization of delay and pollution emission; — in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018.
2. **P. Biesslich, M.R. Schroeder, V. Gollnick, K. Lütjens.** A System Dynamics Approach to Airport Modeling; — 14th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2014.
3. **Reimers, J.** Introduction of Electric Aviation in Norway. Feasibility study assigned by Green Future AS; — Norway, 2018.

В.С. Прахов, студ.; А.В. Сизякин, доцент (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ

Одним из перспективных решений электроприводов для электроавтомобилей является использование систем на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). При этом возможны, по крайней мере, два варианта исполнения таких систем: с прямым подключением двигателя к ведущим колесам и с использованием редуктора. В докладе рассматриваются некоторые особенности 2-го варианта, как в большей степени удовлетворяющего требованиям энергоэффективности и компактности. Проектируемый электропривод на базе СДПМ представляет собой совокупность электродвигателя высокой удельной мощности и векторной системой управления, что обеспечивает максимальную производительность и стабильность работы в широком диапазоне нагрузок.

В ходе исследования особое внимание уделялось влиянию шага обмотки статора на формирование электродвижущей силы (ЭДС) [1]. Для этого в обмотке статора изменялся шаг, что позволяло моделировать различные формы ЭДС — от близкой к синусоидальной, что позволяет использовать векторное управление без использования датчиков положения ротора, до трапецеидальной. Формирование ЭДС с различной формой давало возможность изучить влияние гармонических составляющих на эффективность работы двигателя.

Экспериментальные исследования проводились в программной среде Altair Flux, что позволило оптимизировать конструкцию электродвигателя при достижении максимального КПД и снижения потерь. Проведенный анализ распределения магнитного поля в воздушном зазоре двигателя позволил выявить критические зоны перегрева и минимизировать их за счет оптимизации геометрии ротора и статора.

Литература

1. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1982. — 272 с.

*С.Ю. Рой, К.С. Живоченкова, В.А. Чирков, студенты;
рук-ли И.В. Станкевич, к.т.н., доц.,
Б.Р. Липай, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, образование также должно соответствовать требованиям времени. В частности, это касается технических специальностей, которые требуют от студентов не только теоретических знаний, но и практических навыков работы с оборудованием. Одной из ключевых задач в процессе обучения является проведение лабораторных работ, позволяющих студентам на практике изучить принципы работы различных устройств и систем с помощью современных лабораторных стендов.

Основой модернизируемого стенда является электромашинный преобразователь ПТ-500ц, который объединяет в себе функции как синхронной машины на постоянных магнитах, так и машины постоянного тока. В состав стенда также входят блок нагрузки и плата управления с блоком датчиков, блоком коммутаций и управляющим микроконтроллером, поддерживающим связь по Ethernet.

В процессе модернизации стенда были заменены и добавлены новые элементы, которые позволяют более точно моделировать полётные условия. Система управления преобразователем ПТ-500 была полностью переработана и реализована с помощью регулируемых источников напряжения и микроконтроллера. Она позволяет управлять возбуждением машины постоянного тока и регулировать подмагничивание спинки якоря у синхронной машины с постоянными магнитами. Блок реле обеспечивает смену режимов работы стенда, а микроконтроллер позволяет управлять этими режимами.

В состав стенда входит сервер, который принимает задание от удаленного клиента, и передает его микроконтроллеру, который, после его отработки, передает полученные данные обратно на сервер для отправки клиенту, что даёт возможность дистанционно ставить задачи стенду и просматривать результаты измерений. При необходимости можно объединить несколько стендов для проведения экспериментов по параллельной работе преобразователей. В таком случае при подключении к стенду и выборе совместного режима работы данный стенд будет выполнять роль главного. Он проведёт опрос на наличие подключённых параллельно стендов и организует совместную работу. Разработанный стенд можно будет успешно применять в учебном процессе.

А.С. Лискин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С МАССИВНЫМ РОТОРОМ

Электродвигатели с массивными роторами, в том числе гистерезисные электродвигатели, используются в электроприводах различного назначения. В частности, в системах автоматики и управления, телеметрии, гравиметрии, инклинометрии [1, 2]. Также они применяются в машинах химической, текстильной и связанных с ними отраслей, в системах и агрегатах мобильных и стационарных объектов различного назначения [3].

Массивный ротор гистерезисного электродвигателя обладает свойствами гистерезисного ротора и массивного ротора асинхронного электродвигателя без обмотки. В таком роторе за счёт магнитной твёрдости материала создаётся гистерезисный электромагнитный момент, а за счёт электропроводности материала ротора в нём наводятся вихревые токи, обеспечивающие создание индукционного электромагнитного момента в дополнение к гистерезисному моменту. При разработке таких электродвигателей особенно актуален учёт вихревых токов в их массивных элементах.

Новизна исследований обусловлена направлениями работ ведущих профильных организаций, в числе которых Всероссийский электротехнический институт — ВЭИ — филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», в котором выполняется рассматриваемая работа, АО «НПЦ АП им. академика Н.А. Пилюгина» и др. Личный вклад автора:

- 1) Формирование и апробация математической модели гистерезисного электродвигателя, конструкции статора и ротора которого содержат элементы из массивных магнитно-мягких и магнитно-твёрдых материалов.
- 2) Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований массивных магнитно-мягких и магнитно-твёрдых материалов.
- 3) Расчёты и исследование базовых вариантов гистерезисных электродвигателей с массивными магнитными элементами конструкции.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями разработок 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. **Останин С.Ю., 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.

И.А. Федоров, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

В современных условиях существенно возрастает степень электрификации наземного, водного и других видов транспорта и в долгосрочной перспективе эта тенденция будет усиливаться [1–3]. Ключевыми элементами электрооборудования указанных объектов являются электрические машины, в том числе высокомоментные электродвигатели для электроприводов агрегатов и механизмов мобильных, в частности, автономных, объектов. В связи с этим проектирование и комплексное исследование таких электродвигателей и электроприводов является актуальным [1–3].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ Всероссийского электротехнического института — ВЭИ — филиала ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», в котором выполняются исследования, представленные в докладе, Дальневосточного федерального университета (Владивосток) и других ведущих профильных организаций. Личный вклад автора состоит в следующем:

- 1) Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных процессов в базовых вариантах высокомоментных электродвигателей для электропривода механизма мобильного автономного объекта.
- 2) Расчётный анализ вариантов обмотки статора приводного электродвигателя, связанный с учётом условий рассматриваемого применения.
- 3) Расчёты и исследование конструкционных исполнений высокомоментного электродвигателя для рассматриваемого электропривода.
- 4) Анализ вариантов конструктивных элементов приводного электродвигателя, учитывающих особенности функционирования приводного электродвигателя в процессе эксплуатации автономного объекта.

Перспективы использования результатов обусловлены актуальностью проектирования и комплексного исследования высокомоментных электродвигателей и электроприводов мобильных и стационарных объектов, а также направлениями разработок и исследований ВЭИ — филиала ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина».

Литература

1. **Космодамианский А.С. и др.** Электропривод вспомогательных агрегатов подвижного состава: монография. Saarbrücken: LAMBERT. 2011.
2. **Антоненко С.В.** Судовые движители: учебное пособие / С.В. Антоненко; Дальневосточный государственный технический университет. Владивосток: Изд-во ДВГТУ. 2007. 126 с.
3. **Гайкович А.И.** Основы теории проектирования сложных технических систем. — СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ». 2001. — 423 с.

*А.С. Беспалов, студ.; А.П. Планкин, ст. преп.;
рук. Б.Р. Липай, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ТУРБОГЕНЕРАТОРЕ МИКРОТУРБИННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Одной из основных проблем современной экологии является тепловое загрязнение и увеличение объёма парниковых газов в атмосфере Земли. Источником порядка 16% горячих парниковых газов служит транспорт с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), в частности легковые автомобили.

Создание микротурбинной энергоустановки малой мощности для утилизации теплоты выхлопных газов автомобилей, уменьшения теплового загрязнения и расхода топлива могло бы поспособствовать разрешению непростой экологической обстановки [1].

Подобные микротурбинные энергоустановки уже проектировались и исследовались в России, как с точки зрения электромеханики, термодинамики, так и прочностных расчётов. При этом актуальным остаётся вопрос потерь на вихревые токи в роторе турбогенератора, а также методы борьбы с ними, в особенности при больших частотах вращения.

Опираясь на предыдущий опыт проведено исследование величины потерь на вихревые токи в роторе турбогенератора с постоянными магнитами в зависимости от частоты вращения, а также предложено возможное решение снижения риска локального размагничивания постоянных магнитов посредством увеличения воздушного зазора. Исследование проводилось с помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов в среде Flux.

Полученные в ходе исследования данные свидетельствуют о том, что на высоких оборотах потери на вихревые токи достигают порядка 18% от общих электрических потерь в генераторе. При увеличении воздушного зазора потери в роторе турбогенератора спадают незначительно, однако вихревые токи из магнитов полностью смещаются в бандаж, что предотвращает процесс локального перегрева, а следовательно, и размагничивания ротора высокоскоростного турбогенератора.

Литература

1. **Овсянников Е.М.** Альтернативный источник электрической энергии на автомобиле: использование энергии отработавших газов // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(19), 2014, т. 1 с. 45–50.

М.А. Наумова, студ.; к.т.н., А.Н. Соломин, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Вентильные двигатели представляют собой особую разновидность электрических двигателей постоянного тока, работающих за счёт последовательного переключения обмоток статора, осуществляемого электронным коммутатором с учетом положения ротора. Одной из их разновидностей являются вентильные двигатели на базе синхронных машин с постоянными магнитами. Их главная конструктивная особенность заключается в использовании постоянных магнитов на роторе, что позволяет повысить удельную мощность и эффективность. Отсутствие потерь в обмотках ротора способствует улучшению энергетических характеристик. Это обуславливает их широкое применение в различных областях, в том числе и в составе тягового электропривода.

Важность параметров машины, таких как конфигурация и размеры магнитной системы, является ключевым аспектом для достижения оптимальных показателей работы вентильного двигателя. Правильный выбор этих параметров позволяет повысить КПД машины и снизить ее массу, что особенно актуально для рассматриваемой области применения.

Для обеспечения точности расчетов и улучшения качества проектирования на кафедре была разработана специализированная программа, основанная на математической модели электромагнитных процессов в вентильных двигателях [1]. С её использованием в ходе проведенного расчетного исследования были найдены параметры, при которых достигаются высокий КПД и оптимальная масса машины, а также дана оценка влияния конструктивных решений, принимаемых вследствие технологических и других ограничений. В качестве варьируемых параметров были выбраны величина воздушного зазора, угол расположения магнитов, высота магнитов (по линии намагниченности), толщина перемычек на роторе и ряд размеров на статоре.

Полученные результаты подтверждают эффективность расчетной программы и дают основание для выбора рационального варианта рассмотренного варианта магнитопровода синхронной машины при различных сочетаниях принимаемых критериев качества.

Литература

1. **Русаков А.М., Окунеева Н.А., Соломин А.Н., Шатова И.В.** Математическая модель электромагнитных процессов в вентильных двигателях // Вестник МЭИ, 2007. — № 3. с. 33–39.

*И.А. Гуревич, асп.; рук. А.Н. Скамын, к.т.н., доц.
(СПГУ императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург)*

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ТОКИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА

К современным электрическим сетям подключаются нелинейные нагрузки значительной мощности. Устройства с выпрямителями преобразуют промышленное напряжение в постоянное, потребляют несинусоидальные токи и вызывают искажения в сети. С целью восстановления требуемого качества электрической энергии предприятия принимают меры по снижению токов высших гармоник путем применения фильтрокомпенсирующих устройств. Однако подключение средств для улучшения качества электрической энергии оказывает влияние на режимы работы преобразовательных устройств [1].

В исследовании рассматривается изменение токов высших гармоник частотных приводов после подключения к сети фильтрующих устройств шунтирующего типа. Опыты проводятся путем компьютерного моделирования в MatLab Simulink при изменении параметров источника питания, пассивного фильтра, эквивалентных нелинейных и линейных нагрузок.

Было выявлено, что наибольшее влияние на потребляемые токи частотного электропривода оказывают следующие параметры: емкость звена постоянного тока, сопротивление энергосистемы, параметры пассивного фильтра гармоник. Параметры фильтрокомпенсирующего устройства выбирались исходя из перегрузочной способности элементов.

На основе данных имитационного моделирования были построены зависимости амплитуд гармонических токов частотного электропривода от варьируемых параметров сети, фильтра и нагрузки. Выявлено, что погрешность оценки токов до и после подключения пассивного фильтра принимает минимальное значение при низких значениях сопротивления энергосистемы. Выявлен диапазон изменения погрешности гармонических токов. Подключение шунтирующего фильтрокомпенсирующего устройства приводит к росту тока высших гармоник для нелинейной нагрузки с конденсатором в звене постоянного тока до 20%. Данный эффект оказывает влияние на перегрузку пассивного фильтра до 50%, что может быть использовано при совершенствовании методик выбора параметров пассивного фильтрокомпенсирующих устройств.

Литература

1. **Skamyin A.N.** Computation of Nonlinear Load Harmonic Currents in the Presence of External Distortions // Computation. — 2022. — Vol. 10, № 3.

А.А. Миронова, асп.;
рук. С.А. Нестеров, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

СИНХРОННЫЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

Целью исследования является разработка высокоэффективного синхронного реактивного двигателя РД-180-500 предназначенного для создания крутящего момента на приводе механизма рабочего органа аварийной защиты (РО АЗ), удержания кассеты аварийной защиты в подвешенном состоянии и сброса её в активную зону для быстрого снижения нейтронной мощности реактора в аварийных ситуациях реакторной установки. Он рассчитан на реверсивную работу с регулированием скорости вращения. Область применения: система управления и защиты реакторной установки.

На стадии разработки были приняты следующие конструктивные особенности в связи с условиями работы:

- Сердечник активной стали двигателя с обмоткой должен быть герметизирован от проникновения воды с помощью гильзы из нержавеющей стали, которая приваривается к статору аргонодуговой сваркой.
- Корпус двигателя сварной и выполнен из нержавеющей стали.
- Вал внутри полый, чтобы можно было разместить штанги для удержания кассеты РО АЗ.

Ротор синхронно-реактивного двигателя может выполняться по двум технологиям: поперечно-расслоенный ротор с каналами и с явно выраженными полюсами не используя шихтовку (рис. 1).

В процессе исследования проведён сравнительный анализ влияния различных конструкций ротора на ток короткого замыкания, кратность максимального момента, КПД, получены скоростные характеристики и предложены способы увеличения диапазона регулирования выше от номинальной частоты вращения.

Литература

1. Тихомиров, О.И. Синхронные реактивные электродвигатели для создания энергоэффективных решений класса IE5 / О.И. Тихомиров // Автоматизация в промышленности. — 2022. — № 1. — 2.

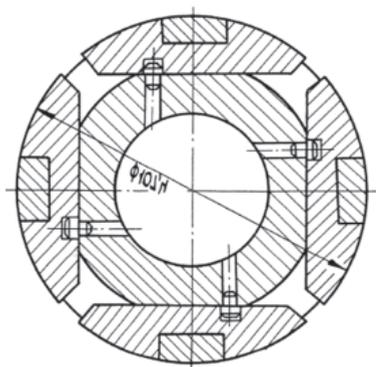


Рис. 1. Ротор РД-180-500 с явно выраженными полюсами

*С.Э. Евдокимов, асп.; Т.Ю. Жораев, соиск.;
рук. А.В. Щагин, д.т.н., проф. (НИУ МИЭТ, Москва)*

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗВЕНЬЯ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПАРКА ОТ ОДНОФАЗНОГО ИЛИ НЕСИММЕТРИЧНОГО СИГНАЛА

В данной работе исследуются методы построения систем управления преобразователями с преобразованием Парка для однофазных и несимметричных сигналов.

Предлагается использование фазового и режекторного фильтров. В непрерывной области фазовый фильтр Ff выражаются как звено (1). $f_N = 2f_0$ — частота исключения второй гармоники основной частоты f_0 .

$$Ff(p) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_0 - p}{p + 2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad (1)$$

В дискретном виде представляется как цифровой фильтр с заданными коэффициентами (2). Критерий синтеза: действительный полюс равен -1.

$$\frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}}, \text{ где } a_1 = b_0 = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot f_0}{fd}\right) - \cos\left(\frac{\pi \cdot f_0}{fd}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \cdot f_0}{fd}\right) + \cos\left(\frac{\pi \cdot f_0}{fd}\right)}, b_1 = 1 \quad (2)$$

По критерию равенства нулю мнимой и действительной частей комплексно-частотной характеристики в точке среза f_N , дополнительно равенства единицы АЧХ на нулевой и бесконечной частоте, а также нулю дискриминанта полюсов (предельно-апериодическое звено), получается режекторный фильтр $F2$ второй гармоники (3):

$$F2(p) = \frac{p^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_N)^2}{(p + 2 \cdot \pi \cdot f_N)^2}, F2(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}, b_0 = \frac{a_1^2 - 4 \cdot b_2}{4} \quad (3)$$

Для передаточной функции в дискретном виде $F2(z)$ коэффициенты представлены в (4), с учётом того, что $a_2 = b_2 + b_0 - 1$, $b_1 = a_1$:

$$b_2 = 4 \left(1 - \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f}{fd}\right) \right) \cdot \csc^2\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f}{fd}\right), \quad (4)$$

$$a_1 = -8 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{fd}\right) \cdot \csc\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot f}{fd}\right)$$

Указанные коэффициенты позволяют реализовать управление по однофазным сигналам с быстродействием порядка четверти периода сети, а также произвести разделение сигнала на симметричные компоненты, активную и реактивную составляющую и др.

Секция 25

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Electrical and electronic apparatuses

Председатель секции: к.т.н., доцент Киселев Михаил Геннадьевич

Секретарь секции: Конюшенко Елизавета Владимировна

Л.Е. Еграшкин, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Одним из результатов развития промышленности является применение технологии цифрового двойника.

Цифровой двойник (ЦД) — это виртуальная копия (модель) изделия или процесса, нацеленная на снижение временных и денежных затрат на различных этапах жизненного цикла [1]. В последнее время в промышленном оборудовании набирает популярность технология магнитных подшипников.

В отличие от обычных подшипников, полагающихся на физический контакт между ротором и статором, магнитные подшипники используют электромагнитные силы для левитации и стабилизации ротора. С одной стороны это позволяет получить ряд преимуществ по сравнению со стандартными подшипниками, таких как, повышенная эффективность, высокая надежность и возможность работы в жестких условиях, а с другой стороны требует точного управления и контроля магнитных сил [2].

Данная работа посвящена изучению влияния активных магнитных подшипников (АМП) на вибрации системы вращающейся роторной машины. В первом случае система моделируется без АМП и какого-либо контроля. В другом случае учитывается АМП, и система реагирует на дополнительные управляющие силы от него. Отклик системы с АМП сравнивается с откликом без АМП. Результаты включают в себя вибрацию в различных точках системы, а также напряжения и управляющие токи.

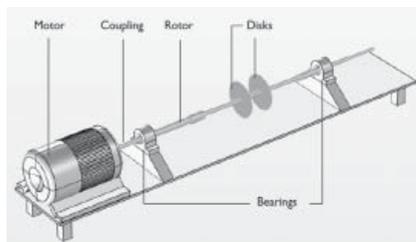


Рис. 1. Модель привода двигателя для контроля вибраций с применением АМП

Литература

1. **Блинов В.Л.** Цифровые двойники турбомашин: Учебное пособие. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), 2022. — 162 с. — ISBN 978-5-7996-3545-9.
2. **Taha, O.W.; Hu, Y.** Modeling of a Digital Twin for Magnetic Bearings. Appl. Sci. 2023, 13, 8534.

*А.Л. Лисицын, студ.;
рук. Б.Ф. Кузнецов, ассистент
(С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Сверхпроводниковый силовой трансформатор — это электрическая машина, предназначенная для преобразования уровня напряжения при передаче электроэнергии в распределительных сетях, обмотки которой выполнены из сверхпроводящих материалов. Обмотки трансформатора в состоянии сверхпроводимости не имеют активного сопротивления, что позволяет значительно уменьшить потери при протекании тока. Помимо этого, использование сверхпроводниковых обмоток позволяет уменьшить габариты трансформатора за счет плоской формы сверхпроводников, увеличить срок службы изоляции за счет постоянной работы при пониженной температуре и обеспечить возможность ограничивать токи при коротких замыканиях в сети за счет свойства сверхпроводящих обмоток выходить из состояния сверхпроводимости при превышении критического тока.

Для расчета режимов сверхпроводниковых трансформаторов необходимо разработать новую математическую модель машины, которая будет учитывать такие свойства сверхпроводниковых материалов, как переход в сверхпроводящее состояние и обратно при изменении тока, температуры и интенсивности внешнего магнитного поля, потери в слоях сверхпроводника при протекании переменного тока, зависимость сопротивления несверхпроводящих слоев сверхпроводника (меди, серебра) от температуры [1], токоограничивающие эффекты, а также учесть свойства традиционных силовых трансформаторов, такие как потери в стальном магнитопроводе, собственные и взаимные индуктивности обмоток, насыщения и нелинейную характеристику сердечника.

В данной работе разработана математическая модель в среде MatLab/Simulink с использованием языка MatLab, с помощью которой можно проводить расчет параметров заданного сверхпроводникового трансформатора в различных режимах работы, а также расчет режимов сложных систем с электрической машиной в составе.

Литература

1. **Кузнецов, Б.Ф.** Разработка математической модели сверхпроводящей обмотки возбуждения синхронной электрической машины в MatLab/Simulink / Б.Ф. Кузнецов // Гагаринские чтения — 2023: Сборник тезисов докладов, Москва, 11–14 апреля 2023 года. — Москва: «Перо», 2023. — С. 367–368.

Д.Е. Котельников, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА

При программировании контролера для системы автоматического ввода резерва (АВР) необходимо проверить созданную логику на соответствие требуемым функциям. Как правило, для отладки АВР используется собранный щит и дополнительное оборудование, что является не практичным по ряду факторов.

Из-за габаритов шкафа отладку необходимо производить на месте сборки, к тому же необходимо выделить время и большие денежные средства не только на сам щит, но и на оборудование для теста.

В данной работе рассматривается программно-аппаратный комплекс для моделирования системы АВР. Устройство создано на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). На входы с контроллера подаются управляющие сигналы на включение и отключение автоматического выключателя и внешние сигналы необходимые для тестирования, к примеру, сигнал аварии, сигнал состояния сети. Входящие сигналы влияют на моделируемую систему в режиме реального времени. С ПЛИС выходят сигналы состояния системы, которые уходят на контроллер.

В совокупности всё это позволяет протестировать работоспособность системы автоматического ввода резерва в любых конфигурациях, возможно смоделировать даже столь сложные схемы, как АВР 4в2. Также весомым плюсом является то, что тестирование аварийных режимов не оказывает физического воздействия на оборудование.

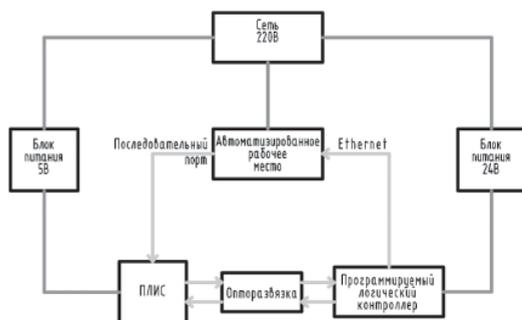


Рис. 1. Структурная схема тестирования АВР

М.Д. Илютин, студ.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА С РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

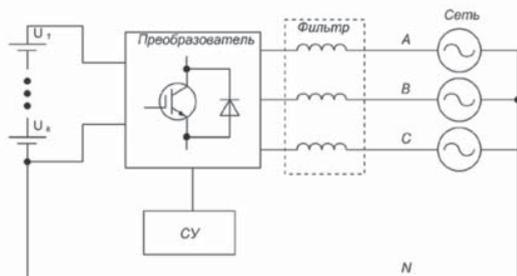


Рис. 1. Структурная схема сетевого регулятора

В силу развития источников энергии, накопителей энергии, потребителей энергии необходимость поддержания качества электроэнергии является важным аспектом в электроснабжении и передаче электрической энергии. Кроме того, в настоящее время активно развиваются умные сети, которые позволяют опти-

мально и автоматизировано распределять электроэнергию, и в составе умных сетей также используются устройства для повышения качества электроэнергии.

Устройствами для повышения качества являются активные фильтры высших гармоник, статические компенсаторы реактивной мощности и несимметрии токов. Так как такие устройства имеют одинаковую структуру силовой части (рис. 1), их можно классифицировать под общим названием — сетевой регулятор [1].

Развитие алгоритмов управления такими устройствами является одной из актуальных задач. Релейный метод модуляции является перспективным для исследования, так как можно создать алгоритмы управления, требующие меньше вычислительные ресурсы от микроконтроллера.

Разработана модель сетевого регулятора с релейной модуляцией, а также элементы программного кода для реализации системы управления.

Литература

1. Киселев М.Г. Исследование качества тока сетевого регулятора с релейной и ШИМ // Электротехника. 2024. № 4.

В.А. Агеев, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА С ВЫХОДНЫМ *CL*-ФИЛЬТРОМ В СОСТАВЕ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ

Применение преобразователей (инверторов) тока целесообразно в системах с индуктивным накопителем энергии, в том числе и СПИН (сверхпроводящий индуктивный накопитель), который является одним из перспективных вариантов накопителей энергии для применения в электроэнергетике [1]. Обмен энергией между накопителем и сетью осуществляется посредством регулятора, обеспечивающего управление активной и реактивной мощностями за счет формирования выходного тока инвертора с требуемыми амплитудой и фазой, т.е. преобразователь эквивалентен управляемому источнику тока. Выходной *CL*-фильтр позволяет улучшить качество генерируемого тока (получить минимальный коэффициент гармонических искажений — *THD*), существенно ослабляя высокочастотные составляющие, возникающие при широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Определение параметров элементов фильтра инвертора, работающего совместно с сетью, является достаточно сложной задачей, и четкой методики его расчета не существует. Целью работы является анализ характеристик системы «преобразователь тока — фильтр — сеть» и определение алгоритма расчета и выбора параметров выходного фильтра. При этом рассматриваются базовые конфигурации *CL*-фильтра, различающиеся способом подключения демпфирующего резистора (параллельно конденсатору или параллельно дросселю), что существенно влияет на частотные характеристики и потери в фильтре. Помимо тока, генерируемого инвертором, на основную гармонику тока регулятора влияет напряжение сети. За счет этого влияния возникают отклонения амплитуды и фазы тока регулятора от требуемых значений, что необходимо учитывать при расчете параметров фильтра. Посредством компьютерного моделирования устройства в программе *SimInTech* исследуются режимы работы регулятора и выполняется спектральный анализ тока и выходного напряжения преобразователя, используемый для определения параметров фильтра: резонансной частоты, емкости и индуктивности, сопротивления демпфирующего резистора.

Литература

1. М.Н. Ali, В. Wu and R.A. Dougal, “An Overview of SMES Applications in Power and Energy Systems,” in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 38–47, April 2010, doi: 10.1109/TSTE.2010.2044901

Н.В. Киринос, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА СОВМЕСТНО С СИСТЕМОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Асинхронизированный турбогенератор (АСТГ) представляет собой турбогенератор, оснащенный двухфазной обмоткой на роторе, подключаемой к управляемому статическому преобразователю [1]. Синхронные турбогенераторы тепловых электростанций ограничены в потреблении реактивной мощности из-за низкой статической и динамической устойчивости. Их неустойчивость при больших углах нагрузки (близких к 90°) препятствует передаче энергии на дальние расстояния и исключает значительное потребление реактивной мощности [2]. Асинхронизированный принцип управления возбуждением позволяет обеспечить статическую устойчивость независимо от угла нагрузки генератора, а также равные запасы динамической устойчивости в режимах как выдачи, так и потребления реактивной мощности. Наличие двухканальной системы возбуждения и векторного управления, позволяет обеспечить работоспособность машины при отказе преобразовательно-регулирующих каналов путём автоматического или ручного перевода системы в один из резервных режимов. Такая система управления турбогенераторами дает новые свойства и преимущества машинам перед статическими устройствами компенсации реактивной мощности [3].

В данной работе планируется разработка системы управления АСТГ на основе данных электромагнитного анализа с использованием методов машинного обучения. Для этой цели на текущем этапе проведен анализ научных источников по методам проектирования систем управления АСТГ, выбрана методика реализации системы управления и определены возможные алгоритмы обучения нейронных сетей.

Литература

1. **Klempner G., Kerszenbaum I.** Handbook of large turbo-generator operation and maintenance. — John Wiley & Sons, 2011. — Т. 38.
2. **Шакарян Ю.Г., Лабунец И.А., Сокур П.В.** в сборнике «Электросила». СПб, 2003. С. 35–43.
3. **Сокур П.В.** Применение асинхронизированных машин для повышения эффективности управления реактивной мощностью в энергосистемах // Энергия единой сети. — 2021. — № 5-6. — С. 42–49.

Р.Г. Апальков, асп.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ПИ-РЕГУЛЯТОР ИЛИ ОДНОТАКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ЧУКА

Преобразователь Чука является наиболее востребованной топологией в силовой электронике, способный как повышать, так и понижать напряжение, обеспечивая высокий уровень фильтрации и непрерывность входных и выходных токов.

Для эффективного управления преобразователем Чука используются два популярных подхода: пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор) и одноктактное управление (One-Cycle Control (ОСС)). Оба метода имеют свои преимущества и недостатки, что делает их подходящими для различных типов задач.

ПИ-регулятор является классическим методом в управлении импульсными преобразователями. Он корректирует ошибку между заданным значением параметра (опорным) и его фактическим замеренным значением в цепи отрицательной обратной связи. ПИ-регулятор широко распространен в цифровых и аналоговых системах в качестве основной системы управления, благодаря своей простоте в реализации и настройки. Основным недостатком ПИ-регулятора является его относительно медленная реакция на резкие скачки нагрузки. Кроме того, при высоких динамических нагрузках эффективность ПИ-регулятора снижается.

Одноктактное управление наиболее идеально подходит при динамических нагрузках, так как этот метод устраняет ошибку регулирования в течение одного рабочего цикла преобразователя [1]. ОСС сравнивает мгновенных значений измеряемого сигнала с опорным сигналом, что позволяет быстро корректировать ширину импульсов за один такт и стабилизировать выходные параметры. Существенный недостаток ОСС в необходимости высокоскоростных компонентов. По разработанной модели с двумя системами управления (рис. 1) наглядно видно отставание сигнала.

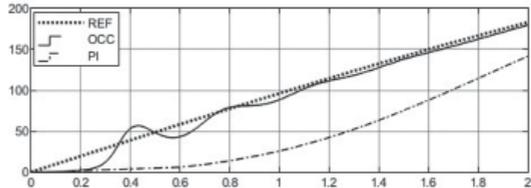


Рис. 1. Отставание ПИ-регулятора (PI) и ОСС от опорного сигнала (REF)

Литература

1. Karaarslan A, Shaibu A. Performance Analysis and Comparison of Non-Inverting Buck-Boost Converter Using PI, OCC, and Hybrid OCC-PI Control. Journal of Electrical Technology 2022.

Д.И. Щуров, студ.;
 рук. Ю.Б. Церковский, ст. преп.;
 рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УСТРОЙСТВА ТОКОГРАНИЧЕНИЯ В ЦЕПЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ограничение тока короткого замыкания — важное функциональное назначение автоматических выключателей (АВ). В отличие от электромеханических выключателей, электронные имеют такие преимущества, как точная настройка уставки срабатывания по току КЗ или перегрузки и меньшее время обнаружения неисправности в сети. Наиболее простой способ обнаружения аварии происходит путем сравнения среднеквадратичного значения выпрямленного сигнала сети, снятого трансформатором тока, с заданным значением опорного сигнала.

При ортогональном обнаружении (рис. 1) на основе входной синусоиды создается аналогичный косинусоидальный сигнал, оба возводятся в квадрат, находится корень их суммы, и только после этих операций сравнивается с заданным опорным сигналом для генерации ошибки. Такой метод позволяет обнаруживать аварийные ситуации менее чем за четверть периода входного синуса, но имеет недостатки, например, при искажении напряжения сети гармониками возможна генерация ложного сигнала ошибки, что приведет к некорректной работе такого детектора [2].

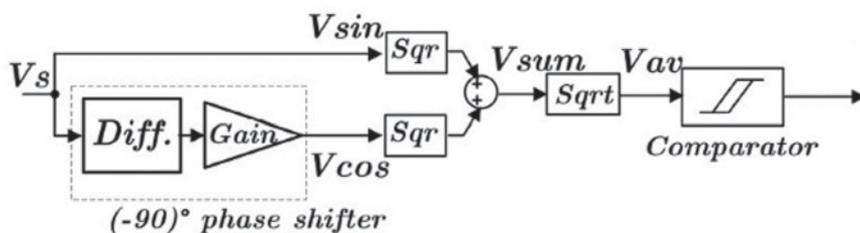


Рис. 1. Блок-схема ортогонального детектора [1]

В работе рассматриваются и сравниваются характеристики электромеханического и электронного автоматических выключателей, моделируется в программе SimInTech работа электронного АВ с оптимальной силовой схемой и детектором поиска аварий в сети.

Литература

1. Y. Sillapawicharn, “A fast voltage sag detector based on peak detection,” 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin, Thailand, 2015, pp. 1–4.
2. T.B. Soeiro, C.A. Petry, J.C. Fagundes and I. Barbi, “Direct AC–AC Converters Using Commercial Power Modules Applied to Voltage Restorers,” in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 1, pp. 278–288, Jan. 2011.

С.А. Шаров, аспирант; рук. П.А. Дергачев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗОНАНСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА (SST)

В различных электротехнических системах, таких как системы электропитания, альтернативной энергетики, электрохимии, электронагрева широко применяются преобразователи электрической энергии с высокочастотным звеном. Задача повышения эффективности работы этих систем является чрезвычайно важной и актуальной. В этой связи активно развиваются технологии с применением твердотельных трансформаторов (SST) и реализацией режимов работы с мягким переключением транзисторов (в нуле тока) [1]. Внедрение таких технологий позволяет значительно уменьшить массогабаритные параметры устройства и повысить его эффективность. Для использования мощных преобразователей переходят на модульную конфигурацию SST [2].

В работе рассматриваются преимущества использования преобразовательных устройств на базе SST, приводятся различные топологии схем и в программном комплексе Matlab Simulink разрабатывается модель резонансного преобразователя (рис. 1). В модели посредством системы управления обеспечивается мягкая коммутация транзисторных ключей и регулирование напряжения на нагрузке.

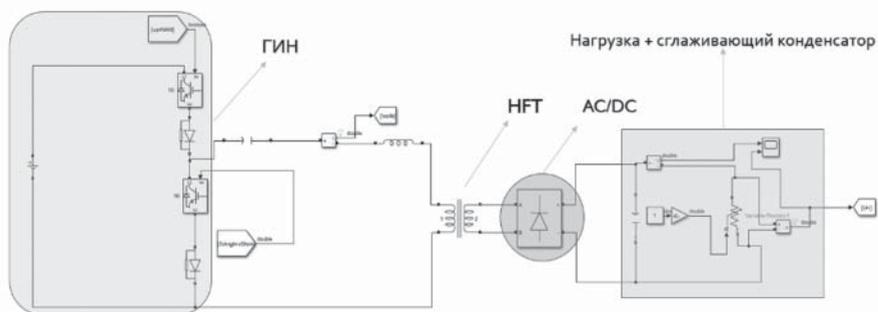


Рис. 1. Резонансный преобразователь

Литература

1. **Huang, A.Q.:** Medium-voltage solid-state transformer: Technology for a smarter and resilient grid. *IEEE Ind. Electron. Mag.* 10(3), 29–42 (2016).
2. **Lee, M., et al.:** Modeling and control of three-level boost rectifier based medium-voltage solid-state transformer for DC fast charger application. *IEEE Trans. Transp. Electrification.* 5(4), 890–902 (2019).

М.С. Алферов, асп.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВАКУУМНЫЙ ВКЛЮЧАЮЩИЙ АППАРАТ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Для коммутационных испытаний и испытаний на стойкость к токам коротких замыканий высоковольтных выключателей и силовых трансформаторов в лабораториях больших мощностей на установках с использованием ударных генераторов неизменно необходимо использовать включающие аппараты, необходимые для осуществления короткого замыкания в цепи генератора в заданную фазу ЭДС генератора [1].

Действующие в России испытательные лаборатории больших мощностей не зависимо от мощности ударного генератора используют воздушные включающие аппараты типа ВА-12 [2], отличается только количество аппаратов: для ударных генераторов ТИ-12 используется один включающий аппарат, для ударных генераторов ТИ-75 и ТИ-100 используется по три включающих аппарата, по одному на каждую фазу генератора. Так как включающие аппараты в нашей стране разрабатывались в 60-х годах прошлого столетия, то их ресурс подходит к концу и замена на более современное оборудование стоит максимально остро. Возможной альтернативой может стать вакуумный включающий аппарат.

Данная работа посвящена исследованию проблем, связанных с эксплуатацией включающих аппаратов в лабораториях больших мощностей.

Полученные результаты исследования показывают, какие проблемы решает вакуумный включающий аппарат и с какими трудностями придётся столкнуться во время его разработки.

Литература

1. **Федченко И.К.** Техника высоких напряжений. Киев.: Вища школа, 1969. с 63–68.
2. **Голубева В.П., Шешин Б.А.** Включающий аппарат для лаборатории большой мощности // Вестник электропромышленности. 1959. № 5. с 18–22.

И.П. Шорсткин, асп.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА НА БАЗЕ H-МОСТОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Одним из перспективных направлений в возобновляемой энергетике является использование энергии ветра для автономных генераторов, в качестве которого предлагается использовать асинхронный генератор (АСГ). Генератор АСГ обладает следующими преимуществами: надежность, дешевизна, способность вырабатывать энергию при переменной скорости вращения ротора. Основным условием для работы АСГ является наличие источника реактивной мощности. Решить эту проблему возможно используя сетевой регулятор. Сетевой регулятор — это полупроводниковое устройство, которое содержит инвертор напряжения, конденсаторную батарею на стороне постоянного тока и дроссели на стороне переменного тока. Сетевой регулятор подключается параллельно АСГ и регулирует активную и реактивную мощность с целью стабилизации напряжения и частоты АСГ. Таким образом поддерживается стабильная работа АСГ при различной величине и характере нагрузке.

Полупроводниковый преобразователь сетевого регулятора выполняется на многоуровневой схеме на базе h-мостов [1]. Преимуществом применения такой топологии является снижение требования к уровню рабочего напряжения транзистора, снижение его частоты коммутации при достижении требуемого уровня качества тока регулятора. Другим важным преимуществом является — возможность подключения низковольтных источников, таких как аккумуляторные батареи для обеспечения накопления избытка энергии от АСГ и отдаче при дефиците. Также в случае выхода из строя одного из инверторов система может продолжать работу, просто отключив из работы неисправный инвертор. Оценка работы сетевого регулятора на базе h-мостов совместно с АСГ проводилась при помощи компьютерных средств моделирования, на основе которых были получены результаты работы системы при различной величине и характере нагрузки, и на основе которых проанализировано влияние сетевого регулятора на качество тока и напряжения АСГ.

Литература

1. **Chang Qian and M.L. Crow**, “A cascaded converter-based StatCom with energy storage,” in IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol.1 pp. 544–549, January 2002.

И.Н. Бурхан, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА КОНТАКТОВ

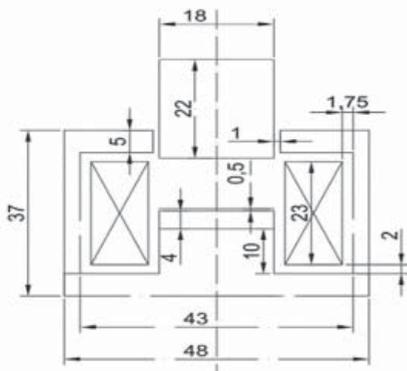


Рис. 1. Электромагнитная система поляризованного контактора

Повышение эффективности в создании контакторов заключается в применение постоянных магнитов, которые в отличие от стандартных моделей, имеют преимущества в плане энергопотребления (рис. 1). В обычных контакторах требуется непрерывная подача электричества на управляющие контакты для их удержания в закрытом состоянии, что приводит к постоянному потреблению энергии. В то время как контакторы, оснащенные постоянными магнитами, требуют подачи управляющего сигнала только при включении или выключении, что позволяет устройству не потреблять электроэнергию в состоянии покоя.

В данном исследовании предлагается решить эту задачу при помощи внедрения поляризованного электромагнитного привода контактов.

Анализ поляризованного электромагнита для решения поставленных в проекте задач проводился на основе созданной модели в программах EasyMAG3D и MatLab. На основе этой модели проведены расчёты и получены графики сил, действующих на якорь электромагнита при его перемещении и токе, а также зависимости потокосцепления при различных токах от перемещения. Кроме того, произведен анализ принципов действия различных типов электромагнитов, условий применения, достоинств и недостатков применения той или иной конструкции для различных технических ситуаций, что в совокупности даст представление об области применения каждого из представленных видов электромагнита и перспектив дальнейшего их развития.

Литература

1. **Н. Lin, X. Wang, S. Fang, P. Jin and S.L. Ho**, “ Design, Optimization, and Intelligent Control of Permanent-Magnet Contactor,” in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, no. 11, pp. 5148–5159, Nov. 2013.

Г.К. Силуянов, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Как известно синхронные двигатели с постоянными магнитами находят всё более широкое применение в энергетических установках с высокой плотностью крутящего момента, например, для гибридных автомобилей. СДПМ имеют превосходные электромагнитные характеристики, но стоимость их достаточно высока. Это обуславливается применением дорогостоящих материалов, неодима и диспрозия. Стоимость этих металлов всё более возрастает, в том числе из-за логистических проблем. Следовательно, при проектировании СДПМ необходимо тщательно рассчитывать предполагаемую стоимость изделия. Именно поэтому важным является оптимизация магнитной системы, что предотвратит удорожание двигателя.

Анализ синхронного двигателя с постоянными магнитами для решения поставленных в проекте задач проводился на основе модели, продемонстрированной на рисунке 1, которая была построена в программе EasyMAG3D. На основе данной модели были проведены расчёты и получены графики моментов и потокоцепления, а также зависимость ЭДС ХХ от угла поворота. Полученные с помощью электромагнитного расчёта характеристики в дальнейшем будут применены в качестве параметров для моделирования работы двигателя в различных режимах с помощью модели с сосредоточенными параметрами.

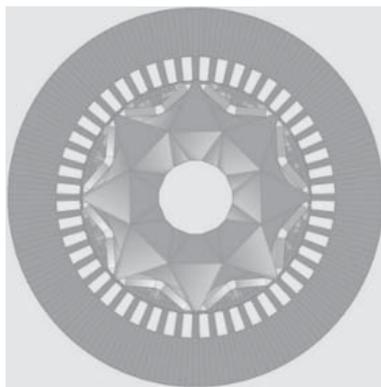


Рис. 1. Синхронный двигатель с V образными магнитами

Литература

1. М. Kitzberger, G. Bramerdorfer, S. Silber, H. Mitterhofer and W. Amrhein, "Influence of Hysteresis and Eddy Current Losses on Electric Drive Energy Balance in Driving Cycle Operation," 2018 8th International Electric Drives Production Conference (EDPC), Schweinfurt, Germany, 2018, pp. 1–7.

Е.А. Кутарев, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СУРРОГАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В последнее десятилетие начали широко использовать суррогатное моделирование в различных областях науки и техники. Это связано как с доступностью методов машинного обучения, так и с увеличением и усложнением математических моделей электротехнических устройств. Комплексный подход к разработке изделий с учетом новых материалов и технологий требует совершенствования математических моделей и алгоритмов. Результатом является возникновение проблем, связанных с повышением временных и экономических затрат на разработку устройств.

Для решения вышеупомянутых задач предполагается использовать суррогатные модели на основе нейронных сетей, разработанные в программном обеспечении Comsol Multiphysics [1]. Сложные и дорогие модели как с экономической, так и с технической стороны заменяются на более простые, при этом точность решения сохраняется. Была разработана комплексная методика, направленная на разработку цифровых двойников электротехнических устройств. При этом учитывались особенности моделирования электромагнитных процессов, происходящих в высоковольтном оборудовании [2].

При разработке методики использовалась готовая трехмерная модель открытого распределительного устройства номиналом 110 кВ. Всего в процессе моделирования была сгенерирована обучающая выборка данных, с помощью которой была обучена суррогатная модель на основе нейронной сети Deep Neural Network [3], в дополнение к этому были исследованы физические характеристики электромагнитного поля.

Литература

1. **COMSOL Multiphysics® v. 6.2.**, www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden
2. **Курбагов П.П.** Электрические и электронные аппараты// учебник и практикум для академического бакалавриата. 2016.
3. **Tahkola, M., Keränen, J., Sedov, D., Farzam Far, M., & Kortelainen, J.** Surrogate Modeling of Electrical Machine Torque Using Artificial Neural Networks // IEEE Access, volume 8. 2020. pp. 220027–220045.

А.С. Сусликов, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Магнитомягкие материалы находят широкое применение в электрических машинах и аппаратах. Одно из их основных назначений — это проведение максимального магнитного потока с наименьшими потерями. В настоящей работе проведено изучение процесса измерения основной кривой намагничивания $B(H)$ на постоянном токе на примере кольцевого образца материала стали с маркой 27КХ.

Создана модель в программе EasyMAG3D для дальнейших исследований характеристик магнитных материалов. Измерения параметров материала выполнены с помощью аппаратно-программного комплекса Remagraph С-500. На материал тороидальной формы наматывают тонкую проволоку в несколько слоев: измерительную и намагничивающую обмотки. Через намагничивающую обмотку пропускается постоянный медленно изменяющийся ток, а измерительная обмотка подключается к веб-метрному, комплекс фиксирует характеристику $\Psi(I)$, которая потом пересчитывается в кривую $B(H)$.

В процессе измерений и расчетов была получена кривая намагничивания материала 27КХ, выполнено сравнение с расчетными значениями и значениями, полученными с помощью устройства для измерения магнитных характеристик, получены высокие совпадения результатов. Далее в работе предполагается провести исследование процесса измерения петли гистерезиса и ее основных параметров на переменном токе.

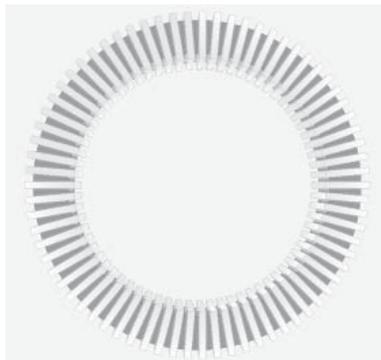


Рис. 1. Модель в EasyMAG3D

О.И. Калашникова, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МОНОБЛОЧНЫХ ЗАВОДСКИХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА

В настоящее время реализация функции автоматического ввода резерва (АВР) стала типовой задачей для большинства объектов. Для ответственных потребителей наличие резервного источника питания является обязательной частью электроустановки.

Переключение на резервный источник может выполняться разными способами и различными коммутационными аппаратами. Для простых решений нередко применяют моноблочные устройства АВР заводского изготовления. Как правило такие устройства выпускают на базе автоматических выключателей или выключателей-разъединителей.

Моноблочные устройства АВР в отличие от проектируемого собирается и настраивается прямо на заводе. Все изделия подвергаются 100% выходному контролю качества, благодаря чему производителем гарантируется надежное срабатывание изделия.

Также достоинствами являются простота выбора таких устройств поскольку на них реализуются простые схемные решения, а также наличие встроенной двойной блокировки, используемой для предотвращения одновременного подключения к нагрузке двух источников питания.

При всех сложностях реализации, создание конструкторского решения по размещению оборудования АВР в корпусе щита, проектируемые устройства позволяют реализовать решение с номинальным током в несколько тысяч Ампер, запрограммировать корректные переключения схемы с несколькими источниками разного исполнения.

Проектируемые АВР могут быть оснащены широким спектром защитных функций, включая защиту от повышения и понижения напряжения, перекоса и пропадания фаз, регулировку времени переключения и возможность запуска и остановки резервного генератора.

Литература

1. Автоматический Ввод Резерва. Обзор решений. Серия инженера-проектировщика. 9СND0000001818, ООО «АББ», подразделение «Низковольтное оборудование», 2015.
2. Типовые схемы АВР с применением интеллектуально программируемого реле. Техническая коллекция Schneider Electric. TECHCOL18RU, 2008.
3. Технический каталог «Оборудование для автоматического ввода резерва» ООО «Чинт», 2024.

Т.К. Игумнов, студ.; рук. П.А. Дергачёв, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ 0,4 КВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛИСТОПРОКАТНОГО ЗАВОДА

Листопрокатный завод является потребителем электроэнергии, в составе которого преобладает двигательная нагрузка. В связи с этим возникают некоторые особенности по подбору электрических аппаратов защиты. Одна из таких особенностей — расчёт тока мгновенного срабатывания автоматического выключателя. При защите кабеля, питающего группу двигателей, запускающихся по схеме прямого пуска, следует учесть ситуацию, при которой электрический ток будет принимать своё наибольшее значение: запуск самого мощного двигателя, когда все остальные двигатели группы меньшей или равной мощности уже работают в номинальном режиме. Такой подход позволит избежать ложных срабатываний защиты.

Также стоит отметить, что большое количество двигателей влияет на коэффициент мощности. Следовательно, возникает необходимость в установках компенсации. При проектировании системы электроснабжения листопрокатного завода было принято решение в установке конденсаторных устройств. Для защиты данных установок выбраны плавкие предохранители. Однако для случая защиты линии, питающей конденсаторную компенсационную установку, также существуют особенности: учёт пусковых токов, обусловленных переходными процессами в ёмкости; учёт превышения номинального значения тока установки в связи с наличием гармоник; учёт превышения номинального значения напряжения из-за возможной перекомпенсации.

Ко всему прочему на рассматриваемом заводе преобладают потребители первой категории надёжности электроснабжения [1], что подразумевает наличие АВР (автоматического ввода резерва). Выбранная схема АВР: «Два рабочих ввода с секционированием на автоматический ввод резерва на базе автоматических выключателей в литом корпусе». Цепи управления имеют реле контроля напряжения на каждый ввод, которые в свою очередь дают информацию о текущем состоянии вводов управляющему элементу — программируемому реле. Программируемое реле управляет автоматическими выключателями посредством подачи управляющего сигнала на привод, который либо взводит автоматический выключатель, либо расцепляет его.

Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Раздел 1. Общие правила. Глава 1.2. Электроснабжение и электрические цепи (Издание шестое), утв. Прик. Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. «Сфера», М. 2002.

И.Г. Ковалев, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕРЕНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В КАТУШКАХ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

В настоящее время в промышленности и повседневной жизни широко используются магнитотвердые материалы. Они сохраняют свои постоянные магнитные свойства сразу же после намагничивания, обладают высокой коэрцитивной силой и низкой проницаемостью, поэтому их довольно трудно размагнитить. Качество различных электротехнических устройств часто определяется магнитными свойствами материалов, применяемых для их изготовления. Возможные методы контроля отражены в [1]. Совсем недавно стандартизирован контроль постоянных магнитов как готовых изделий в катушках Гельмгольца. Более ранние стандарты предусматривали измерение нескольких точек кривой размагничивания и разрушающий контроль с использованием образцов свидетелей в гистерезисграфах.

С использованием программного комплекса для анализа магнитных полей EasyMag 3D разработана математическая модель колец Гельмгольца. Выполнено исследование процесса измерения магнитного момента постоянного магнита, данный метод применим к различным типам постоянных магнитов, например, выполненных в виде дисков, цилиндров, призм, скоб, изготовленных из разных магнитотвердых материалов. Контролируемый образец помещается в рабочую зону измерительной катушки с известной постоянной катушки Гельмгольца, осуществляется измерение потокосцепления с кольцами при удалении магнита и выполняется расчет магнитного момента. Обоснованы габаритные размеры и количество витков катушки. На основе проведенного моделирования создана физическая модель этих колец, которая планируется для применения студентами в лабораторных работах [2]. В дальнейшем в работе планируется провести сравнение различных методов контроля постоянных магнитов и используемое для этих целей измерительное оборудование, выявить их достоинства и недостатки, удобность использования в промышленности.

Литература

1. **ГОСТ Р 58885-2020.** Магниты постоянные общепромышленного применения. Классификация. Общие технические требования. Контроль магнитных параметров.
2. **Дергачев П.А., Курбатова, Е.П., Курбатов П.А.** Лабораторно практические занятия по курсу «Расчет электромагнитных полей»: учеб. пособие / П.А. Дергачев, Е.П. Курбатова, П.А. Курбатов. — М.: Издательство МЭИ, 2019. — 72 с.

В.Н. Круглов, асп.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Компенсаторы реактивной мощности применяются в электрических сетях для ликвидации дефицита реактивной мощности и регулирования напряжения в сети [1]. Параметрическая модель — это модель, представленная с помощью совокупности параметров, устанавливающих соотношение между геометрическими и размерными характеристиками моделируемого объекта.

Параметрическая модель (рис. 1) асинхронизированного компенсатора выполняется в математическом программном комплексе Comsol Multiphysics и состоит из обмотки статора, сердечника статора, катушки возбуждения, ротора и катушки управления. В данной работе производится определение параметров, разработка параметрической модели и определение оптимальных параметров асинхронизированного компенсатора. Также делается сравнение эффективности асинхронизированных компенсаторов, при разных геометрических размерах.

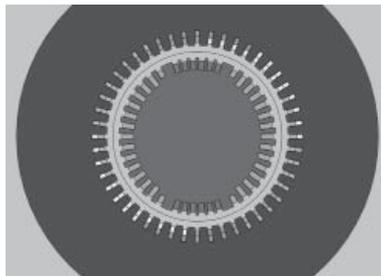


Рис. 1. Модель асинхронизированного компенсатора в Comsol Multiphysics

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»)

ПРЕДИКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ

При возникновении повреждений в низковольтных комплектных устройствах (НКУ) зачастую необходимо менять все устройство целиком, поэтому целесообразно не допускать критических повреждений оборудования и вовремя проводить техническое обслуживание (ТО).

Предиктивная система мониторинга (СМ) благодаря прогнозированию состояния оборудования на основе результатов прошлых событий позволяет принять решение о необходимости проведения ТО [1].

На основе этапов предиктивного ТО, отображенных на рисунке 1, разработана методика проектирования СМ, учитывающая в том числе внедрение СМ в существующие технические решения. На первоначальном этапе выбираются датчики для сбора информации о текущих характеристиках НКУ (датчики тока, напряжения, температуры, контроллер АВР, система контроля изоляции), после чего выбираются модули для сбора и передачи данных (дискретные и аналоговые модули ввода/вывода, коммутатор). Сложности вызывает выбор метода анализа данных, в число которых входят машинное обучение, глубокое обучение, анализ временных рядов и статистический анализ данных. Предполагается, что для конкретного НКУ необходима проверка каждого метода на точность прогноза, надежность данных, возможность масштабирования и простоту реализации.



Рис. 1. Этапы предиктивного технического обслуживания

Внедрение и усовершенствование предиктивных СМ в НКУ по готовой методике позволяет сократить издержки на осуществление ТО и ремонт оборудования [2].

Литература

1. **Poor P., Basl J., Zenisek D.** “Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development” in Proc. Smart Computing and Systems Engineering, 2019.
2. **Mishra K.K., Manjhi S.K.** “Failure prediction model for predictive maintenance” in Proc. IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM), 2018.

Е.А. Кущенко, асп.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАБОТЫ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ С ВТСП МОТОР-ГЕНЕРАТОРОМ

Кинетические накопители энергии (КНЭ) являются перспективным решением для зарядки электрических автомобилей благодаря их способности обеспечивать быстрый обмен энергией. Они позволяют накапливать избыточную энергию, например, от возобновляемых источников, и использовать её для быстрой зарядки электромобилей [1]. Это особенно полезно в условиях, где требуется быстрая зарядка без модернизации существующей инфраструктуры, например, на автозаправочных станциях.

Кроме того, КНЭ интегрируются с другими системами хранения, образуя гибридные решения. Это повышает эффективность использования энергии, снижает нагрузку на аккумуляторные батареи и уменьшает их износ. Таким образом, внедрение КНЭ в инфраструктуру зарядки способствует развитию устойчивой транспортной системы будущего.

В работе исследуется система КНЭ с высокотемпературным сверхпроводящим (ВТСП) мотор/генератором [2]. Применение ВТСП позволяет значительно уменьшить массу и размеры электрических машин благодаря их способности проводить электрический ток без сопротивления при низких температурах. Кроме того, сверхпроводящие обмотки создают более сильные магнитные поля, что позволяет проектировать устройства с меньшими габаритами и более высокой мощностью.

В докладе представлен обзор методов зарядки электрических автомобилей, сформулированы преимущества применения КНЭ по сравнению с другими накопителями. Разработана математическая модель КНЭ для зарядки электромобилей и показаны результаты моделирования мотор/генератора в режиме отдачи энергии на емкостную нагрузку.

Литература

1. **Sun, B., Dragicevic, T., Freijedo, F.D., Vasquez, J.C., & Guerrero, J.M.** A Control Algorithm for Electric Vehicle Fast Charging Stations Equipped With FlywheelEnergy Storage Systems // IEEE Transactions on Power Electronics, 31(9), 6674–6685, 2016.
2. **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.

А.Р. Гудков, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МУФТЫ

Электромагнитные муфты находят большое применение во множестве технологических процессов. В ряде случаев электромагнитные муфты являются незаменимым узлом, позволяющим решать различные технические задачи любой сложности. Электромагнитные муфты имеют несколько основных типов конструкции: фрикционная, порошковая, зубчатая и электромагнитный тормоз. Каждое из этих конструктивных решений обладает уникальными характеристиками и имеет ряд преимуществ над другими видами муфт [1]. Все это позволяет электромагнитным муфтам занимать прочные позиции на рынке технической продукции не только в России, но и в мире. Точный метод разработки и расчета электромагнитной муфты позволяет максимально оптимизировать ее конструкцию, а также сделать ее качественной и эффективной.

Принцип работы электромагнитной муфты заключается в следующем, на обмотку электромагнита подается электрический ток. Прохождение тока через витки обмотки приводит к возникновению сильного магнитного поля. Под воздействием магнитного поля происходит сближение и дальнейшее соприкосновение ведущего и ведомого дисков муфты. Фрикционные слои обеспечивают надежное сцепление поверхностей, что позволяет передавать крутящий момент от ведущего вала к ведомому.

В докладе проведен обзор конструкций муфт и представлены модели, разработанные в программных комплексах EasyMAG3D, Matlab и SolidWorks. Модель в EasyMAG3D предназначена для расчета параметров электромагнитной муфты, модель в Matlab используется для анализа работы исследуемой электромагнитной муфты в динамике, модель в SolidWorks предназначена для отображения конструкции исследуемой электромагнитной муфты. Проведен анализ работы исследуемой муфты. Параметры модели рассчитаны на основе электромагнитного расчета. На основе разработанных моделей получены параметры электромагнитной муфты и проанализирована работа исследуемой муфты в динамике.

Литература

1. **Воропаев В.В., Поезжалов В.М.** Электромагнитные муфты и тормоза, область применения, преимущества и недостатки // Вестник науки. — 2021. — Т. 3. — № 12 (45). — С. 184–192.

*Н.С. Родькин, асп., К.В. Крюков, ст. преп.;
рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

НОВАЯ ТОПОЛОГИЯ ВХОДНОГО ФИЛЬТРА ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЧЕРЕДОВАНИЕМ ФАЗ

Снижение колебаний тока источника любого преобразователя постоянного тока является актуальной проблемой для задач, связанных с возобновляемыми источниками энергии и зеленой энергетикой. Один из таких преобразователей — повышающий преобразователь постоянного тока

с чередованием фаз. Использование такого преобразователя, например, для систем с топливными элементами с протонообменной мембраной (ПОМТЭ), позволяет увеличить срок службы топливного элемента, за счёт снижения пульсаций входного тока [1]. На данный момент существует много способов снижения амплитуды пульсаций тока источника такого повышающего преобразователя, такие как увеличение числа катушек или коммутация дополнительной катушки с целью снижения магнитного насыщения сердечника дросселя [2]. Подобные решения приводят к значительному увеличению физического объема системы, увеличению её цены, проблемам с охлаждением схемы и необходимостью установки дополнительных полупроводниковых компонентов. Однако, также это позволяет работать в широком диапазоне входного напряжения при низком магнитном насыщении.

Моделирование проводилось в программе Matlab/Simulink с целью подбора рабочей частоты коммутации транзисторов f_{sw} и выбора критериев проектирования входного фильтра.

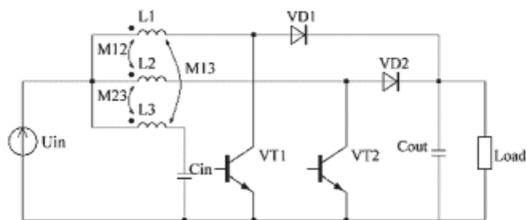


Рис. 1. Предлагаемая топология повышающего преобразователя

Литература

1. **O. Hegazy, J.V. Mierlo and P. Lataire** “Analysis, Modeling, and Implementation of a Multidevice Interleaved DC/DC Converter for Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles,” in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 11, pp. 4445–4458, Nov. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2183148.
2. **M. Frivaldsky, B. Hanko, M. Prazenica and J Morgos** “High Gain Boost Interleaved Converters with Coupled Inductors and with Demagnetizing Circuits”, *Energies*, vol. 11, pp. 130, 2018, [online] Available: <https://doi.org/10.3390/en11010130>.

В.Э. Третьяков, студ.; Е.А. Кузнецова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ «УМНЫЙ СВЕТ» КАК ЧАСТЬ ТЕХНОЛОГИИ «УМНЫЙ ДОМ»

С приходом индустрии 4.0 ускоряются темпы развития технологий, применяемых повсеместно. Неотъемлемой частью нашей жизни является искусственное освещение, которое сопровождает нас в течение всего дня. Система «Умный свет» является пиком развития технологий освещения, предлагая пользователям возможность автоматизированного управления освещением в их домах [1]. Эта технология интегрируется с другими устройствами и функциями системы «умный дом», создавая комплексное решение для повышения комфорта, безопасности и эффективности использования электроэнергии.

Цель данной работы — исследовать оборудование, с помощью которого реализуют данную систему, рассмотреть расположение элементов на плане и изучить их особенности.

В рамках исследования был рассмотрен проект по автоматизации многофункционального комплекса. Изучены подобранные технические элементы, их расположение и взаимодействие в рамках системы «умный дом» [2]. В качестве источников света использованы светильники с лампами накаливания и со светодиодными лампами. Управление освещением реализовано местным и дистанционным способами. Для местного управления использованы выключатели в помещениях, для дистанционного использованы шина DALI и шина KNX.

По итогам работы было подобрано необходимое оборудование, проведены расчеты и составлена конструкторская документация с расположением элементов на плане объекта, приведено подробное описание, используемых технических устройств.

Литература

1. **Ильин В.В.** «Умный» свет / В.В. Ильин, Н.В. Коняев // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 21 ноября 2019 года / Юго-Западный государственный университет. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. — С. 89–91. — EDN VSOOLS.
2. **Зотин О.** Умный свет в «умном» городе. Часть II. Об эволюции «умного» освещения / О. Зотин // Полупроводниковая светотехника. — 2017. — Т. 5, № 49. — С. 68–74. — EDN ZQLLPB.

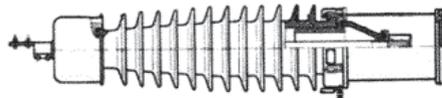
Д.А. Долотов, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВВОДА ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

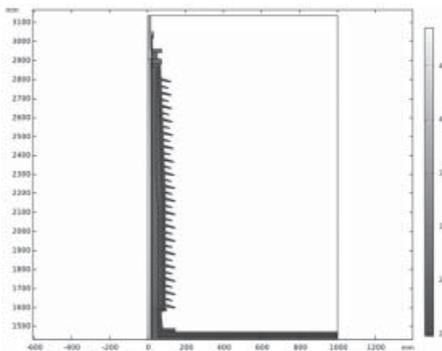
Современный мир характеризуется быстрым развитием технологий и постоянным увеличением сложности технических систем. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов к проектированию, эксплуатации и обслуживанию таких систем. Одним из таких подходов является использование цифровых двойников [1].

В работе рассматривается создание цифрового двойника трансформаторного ввода с использованием программы COMSOL Multiphysics (рис. 1). Проведены испытания модели и выполнен анализ результатов.

Разработанная цифровая модель трансформаторного ввода продемонстрировала свою эффективность в моделировании тепловых полей, что позволяет проводить точные расчёты теплового состояния и предотвращать потенциальные аварии в электрических сетях [2].



(а)



(б)

Рис. 1. (а) трансформаторный ввод;
(б) температура верхней части ввода

Литература

1. **Сидоров Г.М.** Применение цифровых двойников в системах мониторинга и диагностики электрооборудования // *Электротехнические системы*. — 2017. — Т. 15, № 4. — С. 78–85.
2. **Иванов П.С., Смирнов Д.А.** Анализ методов создания цифровых двойников в электроэнергетике // *Электротехнические системы и комплексы*. — 2019. — Т. 21, № 3. — С. 45–52.

М.А. Мерзляков, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При разработке маломощных источников постоянного тока существует множество сложностей, включая выбор параметров элементов питания, настройку рабочих режимов, оптимизацию управления, обеспечение стабильности и точности переходных процессов [1]. В качестве регулирующего звена в источниках питания, как правило, используется регулятор постоянного тока [2].

Цель данной работы — исследовать параметры, влияющие на функционирование регуляторов постоянного тока в источниках питания. Исследование проводилось на лабораторном макете, состоящем из двух регуляторов постоянного тока со встроенными контролерами: 1) гистерезисный понижающий контроллер LM3475; 2) понижающий преобразователь постоянного тока TPS54160 [3].

В рамках исследования были созданы имитационные модели для проведения экспериментов. С их помощью были получены данные для анализа энергетических характеристик регуляторов. Также проведено сравнение результатов моделирования с результатами, полученными на лабораторном стенде. В работе были проведены эксперименты, которые включают изучение переходных процессов при коммутации нагрузок. Анализ процессов в регуляторах проводился как во временной, так и в частотной области (исследование динамики системы управления). Результаты этих исследований позволяют глубже понять принципы функционирования источников питания.

По итогам работы были составлены компьютерные имитационные модели и проведено сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных, полученных на лабораторном макете, которые позволяют оценить работу регуляторов в разных режимах и проверить их эффективность.

Литература

1. **Ю.К. Розанов** «Основы силовой электроники». Москва, Энергоатомиздат, 1992.
2. **В.И. Мелешин** «Транзисторная преобразовательная техника». Москва: Техносфера, 2005.
3. **Nicola Femia** «TI Power Management Lab Kit Buck Experiment Book». Texas: Texas Instruments, 2017. pp 109.

А.Е. Чичков, асп.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА В СКОЛЬЗЯЩЕМ РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Одной из ключевых проблем, связанных с электроснабжением потребителей, являются искажения качества электрической сети, вызванные нелинейными нагрузками. Эти искажения приводят к снижению эффективности использования электроэнергии и увеличению общего потребления [1]. Для повышения качества электроснабжения и регулирования как активной, так и реактивной мощности, которая может быть как передана в сеть, так и извлечена из неё, используется регулятор на основе инвертора напряжения, такое устройство называется сетевым регулятором.

С развитием технологий умных сетей все более перспективным становится внедрение сетевых регуляторов для электроснабжения потребителей, однако в связи с высокими скоростями изменения нагрузки потребителей возникает необходимость в быстрой реакции системы управления сетевым регулятором. Скользящий режим управления позволяет быстро реагировать на изменения нагрузки или другие внешние возмущения [2].

Скольльзящий режим предполагает применение релейного элемента в системе управления, основная идея которого заключается в управлении, которое позволяет системе быстро переходить на заранее заданное состояние, а затем поддерживать данное состояние не смотря на возмущения [3].

Произведена разработка модели сетевого регулятора со скользящим режимом. По результатам моделирования можно отметить надежность и быстродействие скользящего режима управления, что дает возможность использовать его в сетях со сложной динамикой работы, в умных сетях. Полученные результаты дают возможность изучения и внедрения скользящего режима работы в многоуровневые структуры инверторов для сетевого регулятора.

Литература

1. **Савина Н.В., Бордуг Н.С.** Проблемы нормирования качества электроэнергии при переходе на интеллектуальные электроэнергетические системы. УДК 621.311 Проблемы энергетики, 2016, № 5–6.
2. **Alsmadi Y., Utkin V., Xu L.** Sliding mode control of AC/DC power converters // 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. — IEEE, 2013. — С. 1229–1234.
3. **Ryvkin S.E., Lever E.P.** Sliding mode control for synchronous electric drives. — CRC press, 2012.

Н.Ф. Назаров, студ.;
рук. Б.Ф. Кузнецов, ассистент
(САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО КЛЮЧА В УПРАВЛЕНИИ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Сверхпроводниковый индукционный накопитель энергии — это устройство, позволяющее запасать энергию в виде магнитного поля, представляющее из себя накоротко замкнутую сверхпроводниковую катушку, в которой циркулирует постоянный ток.

Сверхпроводниковый накопитель энергии работает в одном из трёх режимов — заряд, хранение энергии и разряд на нагрузку. При заряде и разряде накопителя возникает необходимость в размыкании сверхпроводящей катушки. Однако, включение в цепь коммутационных аппаратов вносит активное сопротивление в систему, что уменьшает длительность хранения энергии, которую можно приблизительно оценить, рассчитав постоянную времени по формуле $\tau = L/R$.

Для решения данной проблемы в работе рассмотрен способ размыкания обмотки посредством сверхпроводникового ключа. Принцип действия устройства заключается в следующем: локальный участок ВТСП провода помещается под действие магнитного поля, интенсивность которого превышает критическое значение, вследствие чего нарушается состояние сверхпроводимости на данном участке.

Согласно данным источника [1], под действием магнитного поля, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости ВТСП провода, сверхпроводник имеет самый низкий критический ток (угол между вектором B и нормалью к плоскости ленты равен 0° или 180°). При достижении определённого критического значения B сверхпроводимость участка нарушается не независимо от уровня транспортного тока.

В ходе исследования разработаны прототип сверхпроводникового ключа, математическая модель для изучения принципа его работы, проведена оценка количества энергии, необходимой для поддержания разомкнутого состояния. Для проверки результатов собрана экспериментальная установка.

Литература

1. **Critical current characterisation of SuperOx YBCO 2G HTS superconducting wire** // figshare. Dataset. — URL: https://figshare.com/articles/dataset/Critical_current_characterisation_of_SuperOx_YBCO_2G_HTS_superconducting_wire/13708690/1?file=26340532

*В.М. Аксёнова, студ.; А.И. Мугу, асп.;
рук. А.В. Самусенко, к.т.н., доц. (СПбГУ, Санкт-Петербург)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ СЕРДЕЧНИКА НА ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

На текущий момент задача моделирования работы трансформатора в ненормальных режимах: короткого замыкания, перенапряжения — является актуальной для оценки электропрочности устройства. В этих случаях могут проявляться нелинейные свойства сердечника и линейной схемы замещения, получаемой из паспортных характеристик, недостаточно для описания работы устройства. В данной работе рассматривается численная модель, реализующая работу катушки с нелинейным сердечником, являющейся составной частью любого трансформатора. Исследуются режимы перенапряжения и короткого замыкания. В модели используется индуктивность катушки, а также информация о кривой намагничивания сердечника, на который намотана катушка. Последняя аппроксимируется билинейной зависимостью (рис. 1). Такой подход позволяет учесть эффект роста тока за счет нелинейности сердечника. Описанный метод также может быть применен к трансформаторам и не требует информации о геометрических размерах активной части.

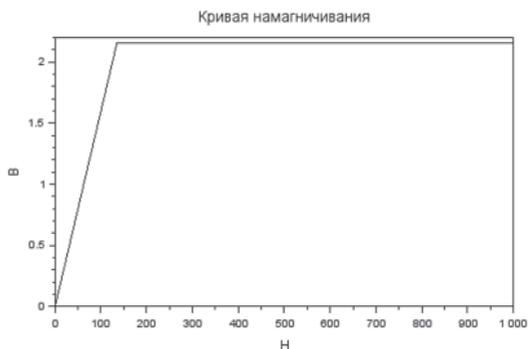


Рис. 1. Билинейная кривая намагничивания сердечника из стали марки 3404

Литература

1. **Лейтес Л.В.** Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. М., «Энергия», 1981.

*Е.В. Конюшенко, асп.; Д.П. Белецкий, студ.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР СО ВСТРОЕННЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ МОМЕНТА

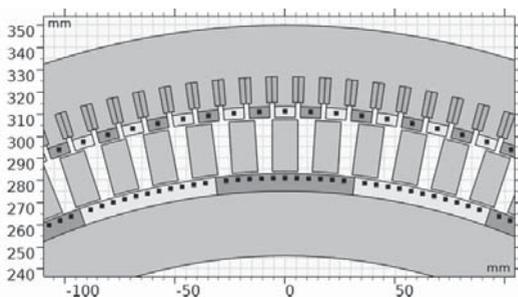


Рис. 1. Синхронный генератор со встроенным трансформатором момента

нической передачи. Одним из решений поставленной задачи является внедрение магнитного трансформатора момента в магнитную систему синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов.

Синхронный генератор со встроенной магнитной передачей является машиной прямого привода, которая совмещает в себе электрическую машину и магнитную передачу (рис. 1). Наличие магнитного зацепления обладает более высокой надёжностью, меньшим шумом и встроенной защитой от перегрузки в отличие от системы с механическим мультипликатором [2].

Исследование синхронного генератора со встроенным трансформатором момента проводится в программном обеспечении Comsol Multiphysics. В работе рассчитана динамическая модель синхронного генератора в различных режимах работы.

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.

Секция 26

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Electric drive and automation

Председатель секции: д.т.н., профессор Анучин Алексей Сергеевич

Секретарь секции: к.т.н. Благодаров Дмитрий Анатольевич

*А.И. Кубиев, студ.;
рук. Н.М. Кураев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

БЕЗРЕДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА С КАНАТОВЕДУЩИМ ШКИВОМ С ПОВЫШЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТРЕНИЯ

Одним из наиболее перспективных направлений в области лифтовых технологий является внедрение безредукторных электроприводов, которые обеспечивают высокую провозную способность, компактность, простоту конструкции и низкий уровень шума.

Важным элементом конструкции безредукторного лифтового электропривода является канатоведущий шкив (КВШ), коэффициент трения которого существенно влияет на работу лифта в целом [1]. Повышение коэффициента трения позволяет увеличить тяговую способность КВШ. Увеличенная тяговая способность КВШ позволяет использовать кабину и противовес меньшей массы.

В данной работе рассматривается возможность повышения приведенного коэффициента трения КВШ за счет использования материала с более высоким коэффициентом трения и уменьшения масс кабины и противовеса с целью снижения удельного давления пары КВШ-канат. При этом снижается стоимость лифта в целом и энергопотребление его электропривода из-за уменьшения поступательно движущихся масс.

Литература

1. Г.Г. Архангельский, Н.И. Балабанов, Л.В. Гуцин, А.А. Ионов, А.А. Рожков, М.А. Степанов, В.Я. Такченко. “Лифты, платформы подъемные для инвалидов, эскалаторы. Часть 1. Лифты” Издательство АСВ, Москва, 2022 г.

Е.С. Курлевский, студ.;
рук. Д.И. Савкин, старший преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СДПМ НА БАЗЕ МНОГОЯДЕРНОГО ПРОЦЕССОРА

Векторное управление синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ) является ключевым элементом для высокоточных электроприводов, применяемых в промышленной и бытовой технике [1]. Для повышения надежности и безопасности таких электроприводов необходимы алгоритмы диагностики, позволяющие своевременно обнаруживать отклонения в работе системы.

Предлагается алгоритм диагностики системы векторного управления СДПМ на базе многоядерного процессора. Одно ядро контролирует работу инвертора и формирует сигналы ШИМ, а второе выполняет функции диагностики и контроля состояния первого ядра.

Целью разработки алгоритма диагностики является обеспечение стабильного и надежного управления двигателем СДПМ при минимизации рисков отказа. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- разработка алгоритмов контроля частоты и целостности сигналов управления;
- настройка диагностических модулей для анализа текущих параметров работы ШИМ-контроллера;
- проведение моделирования и анализа эффективности предложенного алгоритма диагностики в среде PSIM.

В настоящее время имеются аналоги данной разработки, однако, они могут не соответствовать или быть не полными, а также могут не учитывать требования организации [2]. Новизна разработки заключается в использовании многоядерной архитектуры для выполнения параллельных задач управления и диагностики в реальном времени, что позволяет повышать точность и быстродействие системы.

Перспективы использования полученных результатов связаны с возможностью их применения в системах управления высокоточным оборудованием, где стабильность и надежность управления критически важны.

Литература

1. **Анучин А.С.** Системы управления электроприводов: Учебник для вузов / А.С. Анучин. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. **Manel Krichen, Benhadj Naourez, Mohamed Chaieb, Rafik Neji.** "Fault detection and diagnosis of PMSM using model-based and signal processing approaches." in Proc ICRAES, 2017.

А.А. Ледовских, студ., А.Н. Жуков, студ., С.С. Григорьев, студ.;
рук. Д.И Савкин (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ЦИФРОВОГО ДРАЙВЕРА IGBT ТРАНЗИСТОРА

В современном силовом электротехническом оборудовании, включая управляемые преобразователи энергии для электроприводов, всё чаще используются MOSFET и IGBT транзисторы [1]. Ими управляют специальные платы-драйверы, которые управляют затвором транзистора, формируя необходимое напряжение, и проверяют состояние силового модуля.

Плата драйвера должна обеспечивать надежную коммутацию и целостность транзисторного модуля [2]. Плата драйвера получает сигнал с верхнего уровня и преобразует его в управляющее напряжение затвора транзистора, при этом в случае аварийной ситуации драйвер должен сам отключить транзистор и сообщить об этом сигналом верхнему уровню.

В процессе работы транзисторы могут подвергаться аварийным ситуациям, которые выводят транзистор из строя, а следовательно, и оборудование, в котором установлен транзистор. Драйверы мировых производителей умеют детектировать аварийные ситуации, такие как перегрузка по току или перенапряжение, и защищать транзистор, но в условиях санкций доступ к драйверам этих производителей становится ограниченным, что вынуждает разрабатывать свои решения в этой области.

В данной работе рассматриваются основные задачи драйверов, типовые защиты, а также разработка платы драйвера для IGBT транзистора класса напряжения 1700 В на базе микроконтроллера, и работа алгоритма программы микроконтроллера.

Литература

1. **Prakht, V.; Dmitrievskii V.; Anuchin, A.; Kazakbaev V.** Inverter Volt-Ampere Capacity Reduction by Optimization of the Traction Synchronous Homopolar Motor. Mathematics 2021, 9, 2859–2868.
2. **Horii, K.; Yano, H.; Hata, K.; Wang, K.; Mikami, K.; Hatori, K.; Tanaka, K.; Saito, W.; Takamiya, M.** Large Current Output Digital Gate Driver for 6500 V, 1000 A IGBT Module to Reduce Switching Loss and Collector Current Overshoot. IEEE Transactions on Power Electronics 2023, 13, 8075–8088.

Д.А. Осипов, асп.; рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА БАЗЕ ОС UBUNTU И IGН ETHERCAT MASTER

Промышленная шина EtherCAT широко используется для построения систем управления робототехническими комплексами [1]. Метод обработки сообщений устройствами сети на лету и их синхронизация с помощью технологии distributed clock позволяют установить стабильный цикл системы управления. Это позволяет применять промышленную шину EtherCAT для управления электрическими приводами в составе медицинских устройств, например, в конусно-лучевых компьютерных томографах (КЛКТ).

Beckhoff TwinCAT [2] представляет собой программное обеспечение для создания системы управления электроприводами по промышленной шине EtherCAT. Данное ПО позволяет на отдельном компьютере запускать программный код EtherCAT мастера и создавать человеко-машинный интерфейс, что удобно использовать при разработке системы управления КЛКТ. TwinCAT запускает расчет системы управления на изолированном ядре процессора, что позволяет устранить возможное влияние на эти расчеты со стороны других процессов ОС. Однако, TwinCAT работает под управлением ОС Windows и в связи с санкционными рисками использование данного ПО невозможно для разработки отечественных медицинских устройств.

В настоящей работе рассмотрены особенности настройки операционной системы Ubuntu для соответствия требованиям работы системы управления электроприводом в реальном времени по промышленной шине EtherCAT. В качестве стека EtherCAT мастера используется реализация с открытым исходным кодом IgH EtherCAT master [3]. На основе этих технологий построен прототип системы управления приводом гантри КЛКТ.

Литература

1. **Nguyen H., Nguyen T.P., Ngo H.Q.T.** Using EtherCAT technology to launch online automated guided vehicle manipulation with unity-based platform for smart warehouse management// IET Control Theory and Applications, 2023, vol. 18, pp. 229–243, doi: 10.1049/cth2.12570.
2. **Beckhoff Automation GmbH.** Beckhoff Information System [Internet]. Available from: <https://infosys.beckhoff.com>.
3. **Ingenieurgesellschaft IgH GmbH.** IgH EtherCAT master 1.5.2 Documentation [Internet]. Available from: https://docs.etherlab.org/ethercat/1.5/pdf/ethercat_doc.pdf.

*В.Э. Комиссаров, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВИРТУАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ И ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В современном мире регулируемый электропривод используется во всех сферах деятельности. Обеспечение устойчивой работы является основным требованием к технологическому процессу, поэтому системы управления электроприводами требуют глубоко изучения, в том числе дисциплины «Электропривод с шаговыми и вентильными двигателями».

Развитие дистанционных технологий позволяет эффективно их использовать в обучающем процессе, в том числе лабораторных работ для студентов [1]. В наши дни все больше и больше учащихся хотят иметь возможность получить доступ к такому типу обучения, который отвечает их предпочтениям и потребностям.

Решением данной проблемы может стать введение в дисциплину виртуального стенда для подготовки к работе с реальным объектом.

В данной работе рассматривается создание виртуального стенда для исследования вентильных и шаговых двигателей. Для более глубокого изучения дисциплины необходимо понимать математическое описание привода, устройство его моделей и моделей систем управления. Так же для подготовки к работам нужен инструмент, который можно использовать для получения теоретических результатов работы систем управления для последующего сравнения с реальным объектом [2]. Удаленный доступ к лабораторной работе позволяет выполнить её без привязки к времени. Обучающийся предварительно может провести опыты на модели и получить теоретические результаты. Тем самым студенты могут быть лучше подготовлены к работе с реальным оборудованием.

Для виртуального стенда были взяты параметры реального привода, установленного в аудитории кафедры Автоматизированного электропривода МЭИ. Созданы модели в специализированном ПО для всех систем управления, что рассматриваются в изучаемой дисциплине.

Литература

1. **D. May, B. Reeves, M. Trudgen and A. Alweshah**, “The remote laboratory VISIR — Introducing online laboratory equipment in electrical engineering classes”, 2020.
2. **Б.А. Ивоботенко, В.П. Рубцов, Л.А. Садовский, В.К. Цаценкин, М.Г. Чиликин**. “Дискретный электропривод с шаговыми двигателями”, 1971.

*О.А. Пунников, студ.;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

БАЛАНСИРОВКА ГАНТРИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАФОВ

Компьютерные томографы в медицине — диагностическое оборудование, предназначенное для исследования внутренних органов пациента с использованием рентгеновского излучения. Процедура получения томографии состоит в том, что вокруг неподвижного пациента вращается гантри, на котором располагается оборудование для рентгена, осуществляющее снимки исследуемых тканей пациента под разными углами.

Требование по длительности процедуры определяет требуемую скорость вращения гантри: от единиц оборотов в минуту для конусных томографов до единиц оборотов в секунду для спиральных томографов. В зависимости от конкретного аппарата ось вращения может быть расположена под любым углом к горизонту, а подвижная масса может составлять от порядка 10 кг до нескольких тонн. Несбалансированность вращающихся масс на гантри приводит к увеличению нагрузки на узлы томографа, в частности на электропривод, если ось вращения расположена не вертикально, а также приводит к вибрациям, соответствующим частоте вращения. Для балансировки гантри (кроме рационального размещения оборудования на этапе проектирования) используются дополнительные грузы.

Настоящая работа посвящена вопросам балансировки гантри с горизонтальной осью вращения на основании обработки информации от сервопривода вращения гантри. Дисбаланс предлагается определять на основании обработки информации о развиваемом сервоприводом моменте в зависимости от угла поворота гантри [1]. Далее на основании известных точек крепления дополнительных масс на вращающейся части подбирается оптимальное с точки зрения суммарной массы распределение грузов.

Результаты работы позволили упростить балансировку отечественных томографов, которая прежде осуществлялась вручную. Ожидается, что новые возможности оптимизации позволят уменьшить массогабаритные показатели томографов и установленную мощность сервоприводов [2].

Литература

1. **Рассудов Л.Н.** Калиброванное управление силой вентильного двигателя / Рассудов Л.Н., Балковой А.П., Сливинская Г.А., Капитонец В.К., Морозова Т.Н., Иноземцев Г.И. // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2015. Том 2, № 2 С. 3–6.
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.

А.Н. Жуков, студ.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДРАЙВЕРА УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТРОМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С ПИТАНИЕМ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ КАТОД-АНОД

Тиристоры используются в различных отраслях электроники и компонентах электроприводов. Например, в силовых преобразователях, в регуляторах мощности, в импульсных источниках питания и др. [1]. Для включения тиристора необходимо подать короткий импульс тока на его управляющий электрод. Для таких задач используют драйвер, чтобы преобразовать логический сигнал системы управления верхнего уровня в импульс тока.

Драйверы тириستоров могут быть реализованы с использованием различных топологий — трансформаторов, МОП-транзисторов, специальных микросхем, в том числе и программируемых логических интегральных схем [2]. Но у этих топологий есть недостатки: либо небольшой функционал драйвера, как в случае с трансформаторами и МОП-транзисторами, либо это довольно трудоемкое и дорогостоящее решение, как в случае с специальными микросхемами. Кроме того, недостатком ранее упомянутых драйверов является использование внешнего источника питания с высокой гальванической изоляцией между первичной и вторичной обмоткой преобразователя. Это приводит к созданию больших диэлектрических зазоров и увеличению габаритов платы драйвера.

В рамках данной работы был разработан цифровой драйвер, алгоритмы управления и защиты которого реализованы с применением микроконтроллера. Микроконтроллер позволяет сделать драйвер с большим функционалом за счет анализа состояния драйвера и тиристора и передаче системе верхнего уровня статусного байта без использования больших экономических затрат. Питание разработанного драйвера может осуществляться без использования внешнего источника питания за счет питания напрямую от силовых выводов тиристора катод и анод.

Литература

1. **Huang, Alex & Liu, Yu & Chen, Qian & Li, Jun & Song, Wenchao.** (2009). Emitter Turn-off (ETO) Thyristor, ETO Light Converter and Their Grid Applications. 1–8.
2. **Orallo, Carlos & Carugati, Ignacio & Funes, M & Maestri, Sebastian & Goudard, Olivier & Wassinger, N & Mario, Benedetti.** (2014). Thyristor Gate Control implementation on FPGA for particle accelerator facilities. Proceedings of the 2014 Argentine School of Micro-Nanoelectronics, Technology and Applications.

*А.Д. Купцов, асп.; Г.А. Дьячков, студ.;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

МОДУЛЬ ПОДГОТОВКИ ПОДЛОЖЕК БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ В ВАКУУМЕ

Современная промышленность опирается на применение эллионных технологий формирования тонкопленочных покрытий, позволяющих улучшать функциональные характеристики изделий, сохраняя или уменьшая их размеры. При этом используются различные материалы и форм-факторы подложек диаметром до 300 мм. Помимо нанесения функциональных слоев в качестве этапов эллионной обработки используется обработка ионным источником. Такая обработка применяется как для подготовки подложек с целью повышения адгезии, так и для травления, модификации, снижения остаточных напряжений в многослойных покрытиях. Однако площадь, обрабатываемая фиксированным ионным источником, часто ограничена диаметром его пучка [1–2].

Целью работы является разработка способа снижения поверхностных дефектов и механических напряжений в тонкопленочных структурах с помощью увеличения площади обрабатываемой поверхности ионным источником.

Основным элементом разработанной системы является шаговый двигатель с передачей винт-гайка, вращение которой перемещает каретку П-образной формы. Движение каретки вынуждает отклоняться источник ионов, закрепленный на гибком сильфоне. Электропривод работает под управлением контроллера, позволяющего задавать параметры движения: скорость, амплитуду и направление перемещения в зависимости от геометрии и размеров подложки.

Разработка устройства перемещения ионного источника имеет высокую практическую значимость. Экспериментальные исследования показали, что наклон источника позволяет улучшить равномерность обработки для очистки и травления, что открывает новые возможности для применения ионных источников в обработке подложек больших размеров.

Литература

1. **Kim D., et al.** Effect of ion beam energy on the electrical, optical, and structural properties of indium tin oxide thin films prepared by direct metal ion beam deposition technique // *Thin Solid Films*. — 2002. — Т. 408. — № 1-2. — С. 218–222.
2. **Kouptsov A., et al.** Reduction of Residual Stresses in Aluminum Oxide Films by Ion-Plasma Methods // 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, (REEPE). — IEEE, 2024. — С. 1–4.

С.С. Григорьев, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ДРАЙВЕРА IGBT

Силовые IGBT транзисторы с каждым годом находят всё более широкое применение в силовых электрических установках большинства отраслей промышленности. При этом сложность современных электроустановок и их защит, включая системы электроприводов, существенно возросла.

Традиционное использование драйверов управления, основанных на интегральных схемах, стало затратным и трудоемким решением, а ограниченные возможности этой технологии сделали ее неудобной. В то же время, с развитием полупроводниковых технологий появилась возможность реализовать драйверы на базе недорогих микроконтроллеров. Это существенно упрощает процесс разработки, так как большинство необходимых компонентов для алгоритмов управления и защиты IGBT уже интегрированы в сам микроконтроллер, что в свою очередь значительно снижает общую стоимость разработки и изготовления драйвера.

Кроме того, возможность программируемого изменения алгоритмов управления и защиты для различных силовых ключей представляет собой важное преимущество данного решения.

В ходе работы был успешно разработан драйвер IGBT и алгоритм его управления и защиты на основе недорогого микроконтроллера TMS320F28002x. Этот драйвер способен работать с силовыми ключами напряжением до 3 кВ и имеет интерфейс для связи с верхним уровнем управления и уведомления о возникших ошибках. В драйвере также реализованы все необходимые функции защиты по току и напряжению, что способствует увеличению срока службы IGBT. В будущем планируется модернизация алгоритма драйвера с целью повышения эффективности его работы.

Литература

1. **Z. Lou, T. Mamee, K. Hata, M. Takamiya, S.-I. Nishizawa and W. Saito**, “IGBT Power Module Design for Suppressing Gate Voltage Spike at Digital Gate Control,” in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6632–6640, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3237266
2. **Chen Hao and Xie Guilin**, “80C31 single chip computer control of the switched reluctance motor for locomotive in coal mines,” *ICEMS’2001. Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems (IEEE Cat. No.01EX501)*, Shenyang, China, 2001, pp. 604–607 vol.1, doi: 10.1109/ICEMS.2001.970748
3. **V. Dmitrievskii, V. Prakht, A. Anuchin and V. Kazakbaev**, “Traction Synchronous Homopolar Motor: Simplified Computation Technique and Experimental Validation,” in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185112–185120, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029740

К.А. Чапурин, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ДЕТЕКТИРОВАНИИ И ПРОФИЛАКТИКЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Задача обеспечения надежности и безопасности в железнодорожном транспорте и беспилотных летательных аппаратах приобретает все большую значимость, обусловленную сложностью современных электроприводов и их повсеместной эксплуатации. Критические механизмы требуют своевременного обнаружения неисправностей для предотвращения инцидентов. Рост числа серьезных происшествий подчеркивает необходимость улучшения методов диагностики. Существующие системы мониторинга не всегда эффективны в сложных условиях эксплуатации.

Применение статистических методов в детектировании неисправностей позволяет выявлять аномалии на ранних стадиях, повышая эффективность диагностики [1]. Использование алгоритмов машинного обучения открывает новые возможности в статистическом анализе, обеспечивая предиктивное детектирование и позволяя реагировать до возникновения аварийной ситуации [2].

Создание прогнозирующих моделей на основе статистических данных помогает разработать превентивные меры и планировать обслуживание, снижая риск отказов. Адаптивные методы управления позволяют системе автоматически корректировать работу при обнаружении отклонений.

В ходе работы была разработана методика для симуляции аварийных режимов в компьютерных моделях электроприводов и предложены алгоритмы для их обнаружения. Модели интегрированы с базой данных MSSQL Server, что позволяет автоматически собирать и хранить данные, полученные в процессе моделирования. Это обеспечивает возможность дальнейшего анализа собранных данных с использованием статистических программ, таких как Minitab. В дальнейшем планируется разработка методики для обнаружения наиболее распространенных аварийных режимов на железнодорожном транспорте и в БПЛА, а также создание рекомендаций по профилактике и устранению выявленных неисправностей.

Литература

1. **Gultekin M.A., Bazzi A.** “Review of Fault Detection and Diagnosis Techniques for AC Motor Drives” // *Energies*. — 2023.
2. **Wang Y., Zhang X., Liang Y.** Probability-Relevant Incipient Fault Detection and Diagnosis for High-Speed Trains Using PCA Framework // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. — 2019.

*А.Д. Мицких, студ.;
рук. Д.И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ПО НАСТРОЙКЕ ТИПОВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ СВЯЗИ НА БАЗЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ С ОТЕЧЕСТВЕННЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ

В ближайшем будущем среднегодовой темп роста рынка встроенных вычислительных систем составит 6,6% [1]. Разработка методического описания по подключению и отладке микроконтроллерной техники является важным инструментом, позволяющим упростить процесс внедрения за счет объединения и описания алгоритмов настройки типовых интерфейсов.

Несмотря на доступность аппаратных платформ [2–4], разработчики часто сталкиваются с трудностями при настройке типовых интерфейсов связи, таких как RS-485, UART и Ethernet, из-за недостатка документации и практических примеров, а ресурсы зачастую разрознены или неприменимы для обучения, что ограничивает их полезность для разработчиков.

В данной работе разработано методическое пособие по настройке типовых интерфейсов связи RS-485, UART и Ethernet с использованием отладочной платы на базе отечественного микроконтроллера НИИЭТ К1921ВК01Т2. Пособие сформировано на основе практических экспериментов и конфигураций, включает пошаговые инструкции, примеры кода и советы по устранению неполадок, что облегчает внедрение и использование данных интерфейсов. Полученный методический материал призван восполнить пробел в документации, позволяя разработчикам эффективно настраивать интерфейсы связи на плате МСВ6, тем самым ускоряя циклы разработки и способствуя более широкому применению данного оборудования в различных областях автоматизации.

Литература

1. **Mordor Intelligence.** Анализ размера и доли рынка встраиваемых вычислительных систем: Тенденции роста и прогнозы, 2023. Доступ из: <https://www.mordorintelligence.com>. Дата обращения: 14.10.2024.
2. **Колосков Д.А., Чернеева Г.Е.** Программный комплекс для тестирования и наладки по протоколу MODBUS: пат. RU 2024614903 Российская Федерация. № 2024613325; заявл. 21.02.2024; опубл. 29.02.2024.
3. **Данилов А.Н.** Программный модуль управления настройкой сетевых интерфейсов: пат. RU 2021616432 Российская Федерация. № 2021614198; заявл. 30.03.2021; опубл. 21.04.2021.
4. **Крет Д.А.** Программа для управления удаленными объектами по протоколу UART: пат. RU 2015614755 Российская Федерация. № 2015611560; заявл. 10.03.2015; опубл. 28.04.2015.

Т.П. Блинов, студ.; рук. Е.С. Кулик, асс. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА БАЗЕ РОССИЙСКИХ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

В российском электроприводе транспортных средств в последние десятилетия замечена высокая зависимость от импортных преобразователей. Однако в силу логистических и экономических трудностей многие компании, разрабатывающие комплекты тягового электропривода, вынуждены отказаться от недоступных к применению электронных систем.

Существуют и российские аналоги, однако их слабая изученность и низкие объемы производства не позволяют в полной мере оценить их способность заменить силовые модули от крупных производителей, как Semikron.

Установлено, что методы оценки производительности систем охлаждения для комплектов силовых модулей отечественных производителей отличаются от иностранных. Преобразователи российского производства более требовательны к точному расчету охлаждения, при тех же токах российский модуль выделяет больше тепла, чем импортный аналог.

Компания «Русэлпром» имеет опыт в использовании отечественных преобразователей, однако на первичных тепловых испытаниях не была решена задача по подробному расчету мощности и оптимальной компоновки жидкостной системы охлаждения [1, 2]. В рамках моей работы поставлена задача, понять зависимости тепловых режимов модулей от токов, исследовать полученные зависимости, совместно с конструкторами принять участие в модернизации существующие системы охлаждения и учесть ошибки при проектировании новых.

Также в рамках сотрудничества с российским производителем преобразователей Proton-electrotex будут промоделированы процессы нагрузки модулей, будут сформированы требования к модернизации систем жидкостного охлаждения.

Литература

1. **D.O. Malomyzhev.** Analysis of the cooling system of power traction equipment of an alternating current electric locomotive of the “Ermak” series / O.V. Melnichenko, D.O. Malomyzhev, L.V. Demin, R.I. Ustinov // Molodaya nauka Sibiri: electron. scientific journal-2021.
2. **S.N. Florentsev, S.V. Bayda, I.O. Zhurov,** “A Set of Traction Electromechanical Drivetrain Equipment for Energy-Saturated Agricultural Tractors”, Russian Electrical Engineering, vol. 95, no. 2, pp. 95, 2024.

Д.А. Дюжев, студ., А.А. Кузьмин, студ.;
рук. Н.Е. Гнездов, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ СЕРВИСНОГО РОБОТА-ГИДА

Роботы представлены практически в каждой сфере деятельности человека, а уровень робототехники в целом показывает уровень развития страны [1]. Ранее в соответствии с программой развития ИГЭУ был создан сервисный робот-гид «Горди», предназначенный для сопровождения групп людей в помещениях университета [2]. Ходовые испытания робота показали как работоспособность системы питания и привода перемещения, так и необходимость ряда доработок.

Для исключения перегрева силовых компонентов установлены алюминиевые радиаторы с принудительным воздушным охлаждением. Смонтированы дополнительные аккумуляторы для увеличения запаса хода робота. Добавлены ультразвуковые датчики и веб-камера для ориентирования в помещении, а также сенсорный экран и звуковые колонки для взаимодействия с человеком. Последнее потребовало замены контроллера управления робота с ESP32 [3] на BANANA PI [4], обладающего необходимой периферией. Выполнено проектирование рук-манипуляторов «Горди».

В настоящее время совместно с командой программистов усилия сосредоточены на отладке систем ориентирования в пространстве и человеко-машинного интерфейса, а также изготовлении рук-манипуляторов робота.

Литература

1. **Юревич Е.И.** Основы робототехники, 2018. — 252 с.
2. Разработка системы движения сервисного робота-гида / Д.А. Дюжев, К.К. Ермаков, Н.Е. Гнездов // Энергия-2024. Том 4. Электромехатроника и управление: Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2024», 14–16 мая 2024 г., г. Иваново: материалы конференции: В 6 т. — Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».— 2024.— Т.4. — С. 6–6.
3. Описание микроконтроллера ESP32 [Электронный ресурс]. <http://micpic.ru/home/proekty-na-esp32/194-opisaniemikrokontrollera-esp32.html>
4. Banana Pi M2 Berry/BPI-M2 Berry — аналог Raspberry Pi 3 model B от Banana PI [Электронный ресурс]. <https://micro-pi.ru/banana-pi-m2-berry-аналог-raspberry-pi-3/>

А.О. Аксенов, студ.;

рук. Д.И. Савкин, старший преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

При прогрессирующем росте числа электромобилей в России актуальным вопросом также является и развитие соответствующей инфраструктуры, основным компонентом которой являются зарядные станции.

Большая часть владельцев электромобилей предпочитает использовать «медленную» зарядку, то есть зарядную станцию переменного тока, которая заряжает электромобиль за несколько часов (22 кВт). Это крайне выгодно при зарядке в ночное время, во время работы или в торговом центре. Батарея заряжается дольше, но в более щадящем режиме, что продлевает её срок службы.

Зарядные станции постоянного тока также присутствуют в инфраструктуре, но имеют более строгие требования к установке, подводимой мощности, и больше актуальны для размещения на автомагистралях и АЗС. Здесь время зарядки в среднем менее часа, но значительно быстрее изнашивается батарея.

Зарядная станция должна обеспечивать безопасный процесс подключения электромобиля к сети. Основные требования: непрерывное общение с машиной по коммуникационному протоколу (SAE J1772 [1]); ограничение максимального тока зарядки; контроль температуры зарядного разъёма станции и ограничение тока при повышении температуры; определение максимального допустимого тока подключаемого зарядного шнура; измерение зарядного тока и защита от тока утечки с постоянной составляющей; связь с сервером для возможной диспетчеризации, биллинга и балансировки нагрузки в сети.

В данной работе рассматривается устройство зарядных станций переменного тока, сравнение и обоснование используемых схемных решений, а также разработка макета зарядной станции переменного тока с внедрением экспериментальных решений, в частности, схем организации коммуникационного протокола.

Литература

1. **SAE J1772** — Surface vehicle recommended practice, 2017. Доступ из: https://www.sae.org/standards/content/j1772_201710/ Дата обращения: 10.01.2018.

Д.М. Зокиров, студ.;

рук. Д.И. Савкин, старший преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Для предоставления студентам актуальных навыков работы с современными технологиями особое внимание уделяется модернизации лабораторных установок и разработке методических пособий. Шаговые двигатели, широко используемые в робототехнике, автоматизации и управлении движением, являются ключевыми объектами изучения в технических специальностях. Однако действующие лабораторные установки часто не соответствуют современным требованиям к точности и автоматизации, что обуславливает необходимость их обновления.

Интеграция статистических методов детектирования неисправностей в системы управления шаговыми двигателями является эффективным подходом к модернизации. Статистический анализ позволяет выявлять потенциальные неисправности на ранних стадиях, отслеживая отклонения в работе и предсказывая возможные отказы. Это повышает надежность установок и предоставляет студентам навыки использования современных диагностических инструментов.

Ключевым элементом модернизации является разработка действий по профилактике потенциальных неисправностей и исправлению существующих проблем. Регулярный мониторинг параметров, анализ данных и своевременное обслуживание обеспечивают надежную работу оборудования. Включение этих практик в методические указания поможет студентам освоить методы устранения проблем и принципы надежной эксплуатации шаговых двигателей.

Использование современных технологий управления, таких как микроконтроллеры и специализированное программное обеспечение, облегчает внедрение статистического детектирования неисправностей. Это повышает точность и гибкость управления, делая обучение более эффективным. Модернизация методических указаний на кафедре Автоматизированного электропривода МЭИ с учетом этих технологий позволит студентам повысить их компетентность в поддержании и совершенствовании работы инженерных систем с шаговыми двигателями.

*Н.В. Горелов, студент;
рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДВУХ БРЕНДОВ

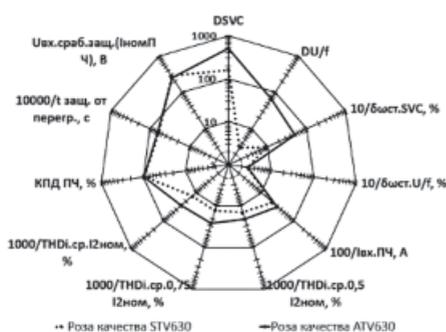


Рис. 1. Пример розы качества, построенной по результатам тестов

Предложен перечень анализируемых показателей качества, экспериментально определены значения показателей качества, поддающихся измерению [2, 3]. Приведено наглядное представление результатов сравнения показателей рассматриваемых преобразователей в формате розы качества (рис. 1).

Кроме важного для практики результата сравнения характеристик двух преобразователей, представляют интерес и методические результаты работы, которые могут быть рекомендованы к применению в практике бенчмаркинга при конструировании систем комплектного частотно-регулируемого электропривода.

Литература

1. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции: основные понятия, термины и определения: действующий межгосударственный стандарт — Стандартиформ, 2009. — 21 с.
2. Оборудование и применение лабораторного практикума по электрическому приводу: учеб.-метод. пособие / А.Н. Ладыгин, Ю.Н. Сергиевский, Д.Д. Богаченко и др. — М.: Издательство МЭИ, 2022. — 52 с.
3. Теория электропривода: Учеб. для вузов. — 2-е изд. перераб. и доп. / Ключев В.И. — М.: Энергоатомиздат, 2001. — 704 с.

Доклад посвящен квалиметрическому анализу преобразователей частоты ATV630 и STV630. Первый из них хорошо известен на рынке и имеет высокую оценку потребителей. Второй находится на этапе вывода на рынок отечественным предприятием System Electric. Поэтому сравнительная оценка показателей качества STV630 относительно ATV630 представляет практический интерес и является актуальной.

В работе использованы измерительный и экспертный методы определения показателей качества [1].

М.Е. Куприянов, студ., Д.А. Дюжев, студ.;
рук. А.А. Коротков, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА ГУСЕНИЧНОГО ПРИВОДА ДВИЖЕНИЯ СЕРВИСНОГО РОБОТА-ГИДА

Сервисный робот-гид, разработанный и собранный коллективом СНТО «Вектор», предназначен для сопровождения групп людей знакомящихся с вузом «ИГЭУ», ответов на вопросы и демонстрации заранее записанных видео. В ходовой части робота используется колёсный привод движения [1], который не способен преодолевать препятствия по типу: ямы, поребрики, камни и двигаться по грунтовым и неровным асфальтированным дорогам. Для решения данной проблемы было принято решение спроектировать гусеничный привод главного движения.

При проектировании гусеничного привода робота-гида была решена проблема смещения центра масс путём добавления компенсирующей системы состоящей из комплекта грузов. В результате робот оказался более устойчивым при движении по неровным дорогам. Для гусеничного привода был разработан одноступенчатый редуктор с передаточным числом редуктора 2 для повышения момента на ведущем катке. Созданы 3D-модели основных компонентов: ведущий вал, катки, вспомогательные валы [2]. Все эти элементы должны обладать достаточным запасом прочности, поскольку при преодолении препятствий привод может испытывать ударные нагрузки. В качестве способа изготовления данных частей была выбрана на 3D-печать полимерными материалами по причине простоты и относительной дешевизны реализации.

Гусеничный привод не только позволит расширить область применения данного робота-гида, обеспечивая возможность преодолевать небольшие препятствия, но и раскроет заложенный в нём потенциал.

Литература

1. **Дюжев, Д.А.** Разработка системы движения сервисного робота-гида / Д.А. Дюжев, К.К. Ермаков // *Электромехатроника и управление: Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 14–16 мая 2024 года. — Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2024. — С. 6.*
2. **Топоров, А.В.** Разработка кинематической схемы привода роботизированного устройства с гусеничным движителем / А.В. Топоров, В.А. Наумов // *Пожарная и аварийная безопасность: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII МЕЖДУНАР. НАУЧ.-ПРАКТ. КОНФЕРЕНЦИИ, ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, Иваново, 29–30 ноября 2017 года. — Иваново: ИПСА ГПС МЧС 2017. — С. 386–387.*

А.Р. Воронин, студ., К.К. Ермаков, асп.;
рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ БЛОКОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

На данный момент выходной контроль качества изготовления блоков системы управления (СУ) электромеханической трансмиссии (ЭМТ) карьерных самосвалов выполняется на основе комплекса автономных испытаний блока и процедур проверки печатных плат. Частично группы данных проверок проводятся для контроля работоспособности блоков СУ, прошедших ремонтные работы. Процедуры проверки выполняются, преимущественно, ручным способом. Автоматизация проверок позволяет сократить временные затраты, быстро выявлять дефекты и ошибки, а также уменьшить влияние человеческого фактора. Это особенно важно при тестировании критически важных компонентов, таких блоков как контроллер силового преобразователя, система возбуждения тягового генератора (СВТГ), контроллер верхнего уровня [1].

Работа направлена на разработку и внедрение автоматизированного подхода к тестированию блоков СУ ЭМТ карьерного самосвала. В ходе работы выполнен анализ текущих методик проверки печатных плат и блоков на рабочем месте, подбор оборудования для сборки стенда, проектирование каркаса стойки, разработана программная оболочка для стендового компьютера, создана исполняемая программа для программируемого логического контроллера стенда. В результате сборки и настройки первого опытного образца испытательного стенда для проверки блока СВТГ время тестирования печатных плат контроллера и блока в целом сократилось с 6 часов до 15 минут.

Кроме того, ведется подготовка документации для пользователей стенда, включающая подробные инструкции по настройке и проведению испытаний, а также по интерпретации результатов тестирования. Эти материалы позволят пользователям быстро и эффективно проводить проверку блоков СУ ЭМТ без необходимости углубления в области электроники и программирования микроконтроллеров.

Литература

1. **Виноградов, А.Б.** Удаленная работа с комплектом тягового электрооборудования карьерного самосвала / А.Б. Виноградов, К.К. Ермаков, А.А. Коротков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2023. — № 4. — С. 63–69. — DOI 10.17588/2072-2672.2023.4.063-069. — EDN TQKQBR.

Н.Н. Иванова, студ.;
рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Главными характеристиками электроприводной арматуры (ЭПА) является возможность дистанционного управления, постоянного регулирования и диагностики ее положения, обеспечение внутренней и внешней герметичности, которая достигается путем перекрытия за установленный интервал времени потока рабочей среды, не допуская утечки рабочей среды вовне. Функцию обеспечения внутренней герметичности выполняет затвор, внешней — корпус, а функцию перемещения затвора — привод арматуры.

Одной из важных задач при осуществлении контроля технического состояния арматуры, является обеспечение диагностических подразделений эффективной методикой выявления неисправностей [1, 2].

Оценку состояния ЭПА производят посредством сравнения измеренных значений диагностических параметров (набор численных значений крутящих моментов, временных интервалов и др.) при текущих испытаниях, с результатами значений, полученных при базовых испытаниях. При этом обнаруживаются: изменения в арматуре, приводе, элементах дистанционного управления и системе управления, возникшие в процессе эксплуатации или технического обслуживания.

Принцип диагностирования ЭПА по электрическим параметрам состоит в использовании установленного электропривода как индикатора состояния арматуры, так как любое изменение момента сопротивления движению отражается на электрических параметрах электропривода (активной мощности) и может быть зафиксировано и проанализировано, при этом оценивается и состояние самого электропривода.

Своевременное диагностирование ЭПА позволит перевести часть арматуры на ремонт по фактическому техническому состоянию вместо ремонта по регламенту, а также отследить ее состояние в межремонтный период для предотвращения вывода из строя вследствие критического дефекта.

Литература

1. **Матвеев А.В.** Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи относительных электрических параметров // Арматуростроение, № 3 (60), 2009.
2. **Петухов В.С.** Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // Новости ЭлектроТехники. № 1, 2(49, 50), 2008.

*Д.О. Перевезенцева, студ., К.К. Ермаков, асп.;
рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА АДАПТЕРА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ДВС КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Современная горная промышленность характеризуется высокими темпами развития и требует постоянной модернизации техники, особенно автотранспорта, играющего ключевую роль в перевозках полезных ископаемых [1]. В настоящее время в карьерных самосвалах применяются электромеханические трансмиссии (ЭМТ), однако они часто оказываются несовместимы с аналоговыми сигналами от двигателей внутреннего сгорания (ДВС) без проведения дополнительных программных и аппаратных доработок. Разработанный адаптер обеспечивает решение этой проблемы, демонстрируя при этом экономическое преимущество перед существующими аналогами.

Основой адаптера является плата ESP32 Devkitv1. Стабильное питание микроконтроллера обеспечивается за счет использования CN3903, преобразующего бортовое напряжение 24 В (типичное для карьерной техники) в 5 В. Адаптер принимает сигналы от ДВС по протоколу J1708, через надежный помехозащищенный интерфейс RS-485 и преобразует их в формат CAN J1939. Это обеспечивает бесшовную интеграцию с системами управления ЭМТ и позволяет отслеживать актуальные данные о текущем состоянии двигателя. Адаптер также может принимать команды управления двигателем (например, обороты или загрузку) по сети CAN J1939 и преобразует их в аналоговый формат, используя встроенный в микроконтроллер ESP32 цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). В результате подачи аналоговых сигналов ДВС начинает работать в заданном режиме. Разъем Deutsch обеспечивает надежное подключение к системе управления самосвала, что особенно важно при работе в тяжелых условиях. Последующие этапы разработки включают программирование контроллера и комплексное тестирование опытного изделия.

Разработка данного адаптера сигналов предоставляет экономически выгодную интеграцию ДВС в ЭМТ самосвалов, минимизируя затраты на модернизацию. Это решение имеет существенную важность для российских предприятий горнодобывающей отрасли, способствуя независимости от импортного оборудования.

Литература

1. **Вишняков, Г.Ю.** Оценка современных систем мониторинга карьерных автосамосвалов / Г.Ю. Вишняков, Е.Ю. Ботян // Горное оборудование и электромеханика. — 2022. — № 2(160). — С. 51–57.

Секция 27

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Industrial electric-thermal installations

Председатель секции: д.т.н., доцент Федин Максим Андреевич

Секретарь секции: Василенко Александра Ильинична

К.А. Сухих, студ.;
рук. А.Г. Сорокин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КОСВЕННОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Доклад посвящён анализу и разработке экспертной системы для комплекса косвенного индукционного нагрева.

С развитием областей промышленности по производству изделий из пластмассы, полученных методом литья, все больше находят применение косвенный индукционный нагрев. Мы хотим повысить эффективность технологии производства путем создания надёжных и высокоэффективных комплексов косвенного индукционного нагрева полимерных материалов.

Экспертная система постепенно становится неотъемлемой частью нашей жизни. С ее помощью мы учимся, совершенствуем навыки, общаемся.

Наша задача — создать экспертную систему для проектирования комплекса индукционного нагрева, которая, в будущем, сможет помочь проектировщикам сэкономить время и минимизировать возможность ошибки, а обслуживающему персоналу определить неисправности в работе системы и устранить их.

Применение подобной системы в учебном процессе также поможет повысить ее эффективность.

Литература

1. **Уотерман, Д.** Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. / Под ред В.Л. Стефанюка. — М., Мир 1989. — 388 с.
2. **Салонов, В.О.** Экспертные системы — интеллектуальные помощники специалистов / Россия О-во «Знание» Санкт-Петербург орг. — СПб., 1992. — 31 с.
3. **Базаров, А.А.** Расчёт и проектирование индукционных нагревательный установок: учеб. пособие / А.А. Базаров, А.И. Данилушкин, В.А. Данилушкин; Самар. гос. техн. ун-т. — Самара 2017. — 194 с.

Л.Г. Мальцев, Ф.С. Шумеев, И.С. Выборнов, Р.В. Щербаков, студ.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ

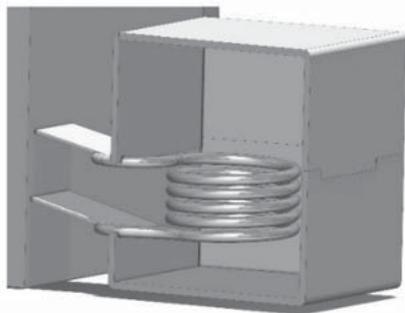


Рис. 1. Трехмерная модель плавильного узла установки индукционной плавки

Индукционные тигельные печи с проводящим или непроводящим тиглем находят широкое применение для плавки различных черных и цветных металлов и сплавов. Технология индукционного нагрева позволяет быстро и равномерно нагревать материал без непосредственного контакта нагревателя с ним, что снижает риск загрязнений. Используемый материал тигля оказывает существенное влияние на структуру получаемой отливки. Автоматизация индукционной плавки важна для повышения точности контроля тем-

пературы и времени расплавления, что, в свою очередь, улучшает качество получаемого металла и снижает затраты на электроэнергию и человеческие ресурсы.

В данной работе предлагается создать автоматизированную установку индукционной плавки с возможностью использования окислительной, восстановительной и защитной атмосфер [1], а также протоколирования электрических, энергетических и тепловых характеристик (рис. 1). В данной установке предусматривается возможность нагрева и плавки меди, алюминия и их сплавов. С использованием установки может быть проведено изучение влияния рабочей атмосферы и материала проводящего тигля на микроструктуру получаемой отливки.

В состав установки входят: инвертор выходной частотой 22 кГц, программируемое реле ПР200-220.2.2.0, четыре термопары ДТПК334-06.80/2,0К.1, мультиметр МЭ110-224.1М, измерительные платы.

Предполагаемое применение установки состоит в получении образцов отливок, изготовленных с использованием окислительной, восстановительной и защитной атмосфер, в проводящих или непроводящих тиглях.

Литература

1. Шульга, А.В. Вакуумная индукционная плавка: учебное пособие / А.В. Шульга. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2010. — 64 с.

Л.Г. Мальцев, Ф.С. Шумеев, И.С. Выборнов, студ.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА

Индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) предназначены для поддержания температуры продукта, защиты от замерзания и стартового разогрева магистральных трубопроводов большой длины. Системы допускают надземную, подземную, подводную прокладку, в том числе и во взрывоопасных зонах. На параметры ИРСН большое влияние оказывают свойства используемого индукционно-резистивного нагревателя (ИРН) [1]. Трубы, произведенные на разных заводах, могут иметь различные вольт-амперные характеристики (ВАХ). Поэтому актуальной задачей является экспериментальное определение ВАХ ИРСН.

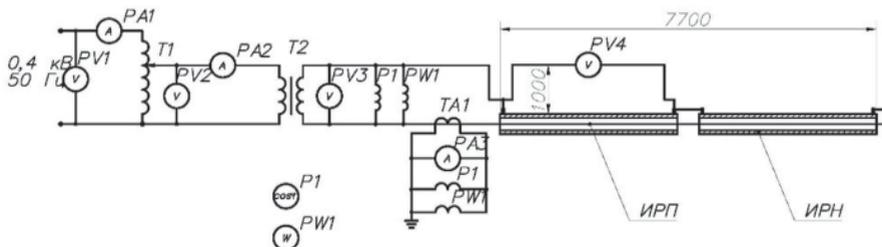


Рис. 1. Схема установки

Для исследования свойств ИРСН был собран экспериментальный стенд, состоящий из автотрансформатора, понижающего трансформатора, измерительных приборов и исследуемых отрывков ИРСН (рис. 1). В качестве измерительных приборов используются вольтметр, токоизмерительные клещи.

В ходе эксперимента получены значения для построения вольт-амперной характеристики (рис. 2), которая может быть использована при проектировании ИРСН. Отличие экспериментально полученных данных от результатов теоретического расчёта составляет не более 5%.

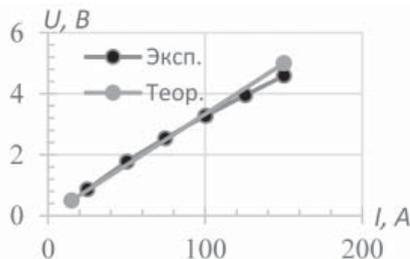


Рис. 2. 1 — ВАХ исследуемой ИРСН; 2 — теоретический расчет

Литература

1. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. Настольная книга специалиста по электрообогреву // Инфра-Инженерия, 2023. — 524 с.

А.Ю. Соколов, соиск.;
рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

АНАЛИЗ ИСПАРЕНИЯ МЕТАЛЛА ПОД ДУГАМИ В ВАННЕ МОЩНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛИ

Целью работы является объяснение причин низкого угара металла под дугами в ванне мощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП) на основе анализа сложного теплообмена и электродинамических сил.

В работе приведено описание расчетной программы на языке VBA для нахождения распределения плотностей потоков теплового излучения дуг по поверхности жидкометаллической ванны, а также по поверхности шаровых сегментов, образуемых электродинамическим воздействием дуг на ванну. Графики, полученные с помощью программы, показывают, что плотности тепловых потоков в шаровых сегментах значительно превышают плотности тепловых потоков на поверхности ванны металла и шлака. Однако практика эксплуатации мощных ДСП показывает, что на испарение металла под дугами расходуется не более 3–4% их мощности, 76–78% мощности дуг преобразуется в потоки конвективные и теплопроводности, нагревающие ванну. Угар металла под дугами составляет 8–9%, 91–92% приходится на зоны воздействия на ванну кислородом. При расходе кислорода 10–15 м³/т угар металла составляет 3%, при увеличении расхода кислорода до 50 м³/т угар металла возрастает до 7,5–12%.

Данные факты объясняются сложным теплообменом в ванне металла. В шаровых сегментах под дугами их тепловое излучение преобразуется в потоки конвекции и теплопроводности, нагревающие весь объем металла и шлака. Жидкий металл и шлак, нагретые дугами до температуры, близкой к температуре кипения, не испаряются, а выбрасываются дугами из шаровых сегментов на поверхность шлаковой ванны с большой скоростью 30–100 м/с и периодичностью 50 раз в секунду. Таким образом, время пребывания нагретых металла и шлака в шаровых сегментах составляет всего 0,02 с, за которое температуры большей части металла и шлака не успевают достичь температур кипения и испарения. Малая часть находящихся в шаровых сегментах металла и шлака нагревается до температур, требуемых для их кипения и испарения.

В работе приведены аналитические и экспериментальные исследования, выполненные на основе анализа теплообмена и данных энергетических балансов плавки, подтверждающие верность приведенных рассуждений.

Литература

1. **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.П. Севрюков, студ.;
рук. А.В. Щербаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В последние годы все чаще назревает вопрос совершенствования уже имеющихся технологий, а именно таких их аспектов как: улучшение качества конечного продукта, увеличение производительности технологического процесса. Немаловажным фактором является экономическая составляющая в любом из её проявлений. Например, повышение доли выпуска годных изделий и снижение расхода материалов, исключение влияния ошибок оператора. В пользу последнего пункта выступает автоматическая система управления технологическим процессом. В данном случае это тема моей научной работы.

Проблема обеспечения воспроизводимости качества сварных швов при электронно-лучевой сварке связана с необходимостью управления такими параметрами как ток луча, ток фокусировки, углы отклонения луча вдоль ортогональных осей абсцисс и ординат, а также пространственными координатами и скоростью перемещения изделия относительно луча, обеспечиваемого серводвигателями. В сравнении с процессами дуговой или плазменной сварки количество контролируемых параметров в рассматриваемом случае будет большим, и поэтому становится актуальной задача создания специализированного программно-аппаратного комплекса, встраиваемого в систему чистового программного управления установки.

Существует возможность, расположить несколько катушек и регулировать ток, который протекающий через каждую из них, что в теории позволит направлять тонкий электронный луч с высокой точностью.

Однако, одна из основных проблем состоит в том, как обеспечить достаточную вычислительную мощность для того, чтобы контролировать каждую катушку, причем с требуемой технологическим процессом мощностью. Промышленные средства автоматизации для данного процесса не подойдут, так как им не хватает мощности. Появляется необходимость просчитывать весь процесс целиком на этапе моделирования. В докладе отражены этапы разработки данного комплекса и уделено внимание решению возникающих научно-технических задач.

Литература

1. **Aliaksandr Zavadski.** Advanced welding technologies used in aerospace industry. Degree programme in Mechanical Engineering and Production Technology, Thesis, Saimaa University of Applied Sciences, 2018.
2. **Жигарев А.А.** "Электронная оптика и электронно-лучевые приборы".

Н.С. Зверинцев, студ.;
рук. А.О. Кулешов, к.т.н., ассисс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА ПРЕССФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Необходимым элементом для литья алюминия под давлением является непосредственно пресс форма, в которую будет подаваться, а затем остывать расплав. Важным технико-экономическим параметром в данном процессе, независимо от других показателей является долговечность каждой пресс формы, количество циклов остывания, которая она может выдержать без деформации и появления трещин в её структуре. Для того, чтобы форма служила дольше, а готовые изделия обладали необходимыми характеристиками, пресс-формы предварительно нагревают. Стоит отметить, что нагрев форм используют также и для литья пластика, поэтому это весьма распространённая практика.

Существуют разные способы подогрева пресс форм: газовый нагрев и электрический, который в свою очередь разделяется на резистивный и индукционный. Оптимальным способом подогрева является электронагрев, а именно индукционный, так как он безынерционный и хорошо поддается автоматизации, а также при этом способе можно более точно контролировать параметры нагрева. Применение плоских индукционных нагревателей для подогрева прессформ, управляемых программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), позволит значительно повысить эффективность и качество производственных процессов.

В докладе отражены этапы моделирования данного процесса в программном обеспечении ELCUT, а также способы оптимизации и автоматизации геометрического моделирования нагревателя для заданных условий.

Литература

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для высших учебных заведений / В.Б. Арзамасов [и др.]; под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черпахина. — М.: Академия, 200.
2. **Жаров, Н.Т.** Автоматизация некоторых литейных процессов / Н.Т. Жаров — М.: «Машиностроение», 1964.

Н.В. Милютин, асп.;
рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАННЫ МЕТАЛЛА ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

Дуговыми сталеплавильными печами (ДСП) высокой мощности в 2024 году производится 29% мировой стали. Эти печи обладают следующими преимуществами: в ДСП производится сталь высокого качества; наименьшее загрязнение окружающей среды в сравнении с другими способами производства стали; высокая скорость выплавки металла. Главным недостатком ДСП заключается в высокой стоимости технологического процесса, поэтому задачей исследования является повысить энергоэффективность дуговых печей для снижения затрат на производство стали.

В настоящей работе проведен анализ плавления стали в ДСП. Для этого автором разработана математическая модель распределения излучения от трёх дуг на ванну металла в целях поиска точек перегрева и мертвых зон, которые требуют дополнительного нагрева от газовых горелок. Такая модель позволяет правильно выбрать технологические режимы для всех этапов плавки, мощности дуг и газовых горелок, правильное положение электродов и глубину их заглубления. Для лучшего анализа ванны металла строятся изограды тепловых излучений на ванну металла, представленные на рисунке 1.

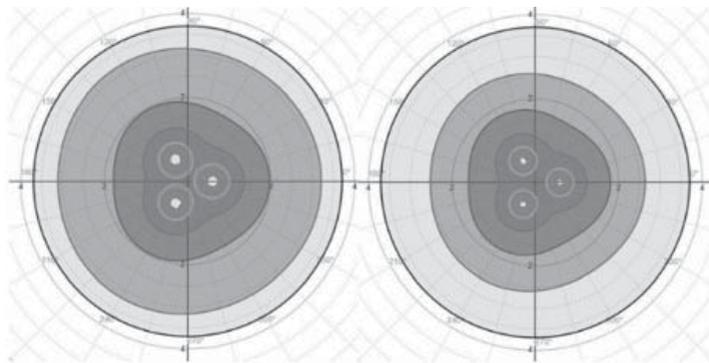


Рис. 1. Пример построения градиентов тепловых излучений

В результате проведенного исследования появилась возможность определять правильный градиент плотностей тепловых потоков на ванну металла любых вместимостей со схожей конструкцией.

Литература

1. Оптимальные тепловые режимы дуговых сталеплавильных печей / А.Н. Макаров, А.Д. Свенчанский — М.: Библиотека электротермиста, 1992. — С. 39.

*И.А. Кириллов, студ.;
рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ «МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНА — ЛИНЕЙНЫЕ ИНДУКТИРУЮЩИЕ ПРОВОДНИКИ»

Используя силы взаимодействия индуцированного в металле тока с вызвавшим его электромагнитным полем, можно поднять металл над индуктором и таким образом осуществлять нагрев и плавку металла во взвешенном состоянии. Такой способ нагрева детали обеспечивает равномерное нанесение различных покрытий, позволяет осуществлять рекристаллизацию металла и отпуск, применяется для сушки лакокрасочных покрытий [1].

Целью работы является получение исходных данных для создания установки для нагрева пластин во взвешенном состоянии.

Были выполнены следующие расчеты: определены мощность, передаваемая в загрузку, распределение источников тепла, удельной мощности в пластине для оценки равномерности нагрева. Температура нагрева пластины определяется технологическим процессом нанесения покрытия. В данном случае принимается 150°C. Важно также подобрать оптимальные параметры проводников, поскольку электромагнитная сила от верхнего и нижнего индукторов должны компенсировать вес нагреваемой пластины: индукторы применяются прямоугольного сечения от 4×2 до 10×8 мм [2]. Чтобы ограничить высоту подъема заготовки, применяются закрывающие витки проводники, они расположены на расстоянии от 3 до 8 мм выше горизонтальной оси индуктора. Базовые витки индуктора, находящиеся непосредственно под заготовкой и обеспечивающие подъем пластины, расположены на расстоянии от 4 до 10 мм ниже горизонтальной оси индуктора.

Для регулирования передаваемой мощности необходимо увеличивать силу тока как в верхних, так и в нижних проводниках, и за счет этого расширяется диапазон нагрева обрабатываемых плоских металлических изделий. Это делает устройство особенно эффективным в мощных индукционных установках, поскольку оно позволяет реализовать более широкий спектр режимов нагрева заготовки.

Литература

1. **Фогель А.А.** Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии. Л.: Машиностроение, 1979. 104 с.
2. **Патент RU 2 790 366, Н05В 6/02.** Индукционное устройство для нагрева плоских металлических заготовок в состоянии левитации / Авторы А.Б. Кувалдин, М.А. Федин, К.С. Котин. Оpubл. 17.02.2023, Бюл. № 5.

М.А. Булатенко, студ.; рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СКИН-КАБЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРООБОГРЕВА С ЦИФРОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ ТЕРМОКОНТРОЛЯ

К современным системам промышленного электрообогрева трубопроводов предъявляются требования повышенной надежности и эффективности при одновременном снижении эксплуатационных затрат. Существующие решения часто характеризуются избыточным количеством точек подключения к электросети и ограниченными возможностями мониторинга температурных режимов.

Скин-кабельная система электрообогрева представляет собой комплексное решение, объединяющее основную скин-систему (классическая индукционно-резистивная система нагрева [1]) с дополнительными скин-системами и нагревательными кабелями, подключаемыми через специальные трансформаторы внутри-системной передачи электроэнергии. Данная система предназначена для обогрева рассредоточенной сети транспортных трубопроводов, характеризующейся сложной геометрией, наличием ответвлений и значительной протяженностью основной магистрали, при подключении к одной точке электропитания.

Для обеспечения контроля температуры и поддержания различных температурных режимов на разных участках трубопровода в скин-кабельную систему интегрирована цифровая пространственная система термоконтроля с возможностью масштабирования до 60 точек контроля. Особенностью разработки является применение пьезокварцевых резонансно-частотных датчиков температуры и PLC-технологии для передачи данных, что позволяет достичь точности измерения температуры $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от -50°C до $+300^{\circ}\text{C}$, а также полностью отказаться от про-кладки дополнительных измерительных проводников от каждого датчика до точки сбора данных.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка современных раз-ветвленных скин-кабельных систем электрообогрева с цифровым двойником и пространственной цифровой системой термоконтроля» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.».

Литература

1. Федин М.А., Качалина Е.В., Молостова А.В., Федина С.А., Василенко А.И., Зотов М.Л., Демидов Ю.А. Разработка математической модели электромагнитного поля и схемы замещения индукционно-резистивной системы нагрева для промышленных трубопроводов // Промышленная энергетика. 2023. № 12. С. 2–9.

М.А. Булатенко, Я.В. Ареев, студ.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СКИН-СИСТЕМА С ГОФРИРОВАННЫМ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ

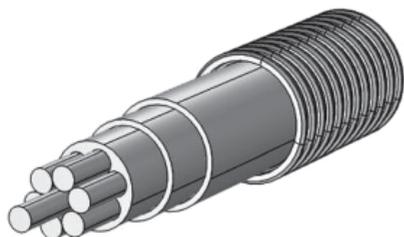


Рис. 1. Модель скин-системы с гофрированным индукционно-резистивным нагревателем

системы (с нагревателем из стальной бесшовной трубы) [1] и гибкой конструкции.

Гофрированная структура стали позволяет достичь высокой механической гибкости без ущерба для электрических характеристик системы и эффективности нагрева.

Математическое описание электромагнитных процессов в гофрированном индукционно-резистивном нагревателе осложнено неоднородностью распределения электромагнитного поля в гофрированной структуре, где локальные искажения силовых линий приводят к существенному перераспределению плотности тока. Учитывая данные особенности, для исследования была выбрана программная среда COMSOL Multiphysic, позволяющая создавать детальные трехмерные модели и реализовать анализ распределения электромагнитного поля с точным учетом геометрии системы, нелинейных свойств материалов и их зависимости от температуры и напряженности магнитного поля.

Для анализа поведения системы в реальных условиях эксплуатации требуется моделирование связанных физических процессов, включая одновременный учет электромагнитных, тепловых и механических явлений.

Литература

1. Федин М.А., Качалина Е.В., Молостова А.В., Федина С.А., Василенко А.И., Зотов М.Л., Демидов Ю.А. Разработка математической модели электромагнитного поля и схемы замещения индукционно-резистивной системы нагрева для промышленных трубопроводов // Промышленная энергетика. 2023. № 12. С. 2–9.

*А.А. Горланов, аспирант («МАИ (НИУ)», Москва);
рук. А.Г. Бойцов, д.т.н., доцент («МАИ (НИУ)», Москва)*

ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Электродуговое фрезерование — относительно новый тип электроэрозионной обработки, в котором для удаления материала заготовки используется воздействие дуговых разрядов между электродом-инструментом и электродом-заготовкой.

ЭДФ является перспективным методом обработки, главным преимуществом которого является высокая производительность при обработке труднообрабатываемых материалов. В частности, производительность электродугового фрезерования двукратно превышает производительность традиционного фрезерования при обработке титановых сплавов при уменьшенных затратах на инструмент и оснастку, что делает данный метод перспективным для изготовления деталей авиакосмической техники. Тем не менее, в силу низких точности и качества поверхности в настоящее время ЭДФ преимущественно используется для черновой обработки деталей.

В докладе описаны результаты исследования с целью определить влияние параметров обработки на производительность процесса и качество поверхности при дуговой обработке. Также в докладе рассмотрена современная область применения ЭДФ, перспективы данного метода обработки, приведены результаты анализа современного состояния технологии электродугового фрезерования, описаны современные методы гашения дуги, управления параметрами обработки с целью достижения заданных требований к точности размеров, формы и качества поверхностного слоя. Рассмотрены перспективы применения ЭДФ для обработки типовых деталей газотурбинных двигателей и направления исследований и разработок.

Литература

1. **Бойцов, А.Г.** Электроэрозионное фрезерование в производстве деталей двигателей летательных аппаратов: монография / А.Г. Бойцов, М.В. Силуянова, В.В. Курицына. — Москва: МАИ, 2022. — 163 с.
2. **Shrivastava PK, Pandey S, Dangi S.** Electrical arc machining: process capabilities and current research trends. Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci. 2019;233(15):5190–5200.
3. **Zhou J, Liang C, et al.** Study on rules in material removal rate and surface quality of short electric arc machining process. Adv Mater Res 2008;33:1313–1318.

*С.И. Скрипниченко, асп., К.В. Мильский, асп.,
П.М. Данильцин, студент;
рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДСП-6 С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ И АКТИВНОЙ ФИЛЬТРОКОМПЕНСАЦИИ

Многофункциональное адаптивное управление электрическим режимом дуговой сталеплавильной печи (ДСП).

Актуальна задача повышения энергетической эффективности и обеспечения электромагнитной совместимости с питающей сетью дуговой печи переменного тока, так как она является мощным источником нелинейных искажений сети.

С помощью быстродействующего активного параллельного компенсатора реактивной мощности можно как увеличить коэффициент мощности сети, так и повлиять на процесс горения дуги.

Быстродействующее управление в процессе плавки энергетическим режимом при создании многофункциональной адаптивной системы управления позволяет стабилизировать динамические параметры дуги, подверженные резким колебаниям под действием быстропротекающих возмущений. Для оптимизации параметров настройки систем с учетом требований технологического процесса в разные периоды плавки используется анализ данных видеонаблюдения за процессом плавки с использованием нейросетевой технологии сегментации изображения.

Для динамического регулирования дуговых печей переменного тока используется метод восстановления параметров режима электропечного контура недоступных непосредственному измерению. Данный метод был апробирован по данным регистрации мгновенных значений токов и напряжений на вторичных выводах печного трансформатора крупной промышленной печи ДСП-120 [1].

Литература

1. Восстановление параметров динамической модели дуги дуговой сталеплавильной печи С.М. Нехамин, д-р техн. наук, проф., А.Н. Журкин, С.И. Скрипниченко, ЭлектроМеталлургия 6/2024.
2. С.И. Скрипниченко, студ.; рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ») РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДСП-6 С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ, РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: 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.

П.М. Данильцин, студ.; рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВАКУУМНАЯ ДУГОВАЯ ПЕЧЬ С НЕРАСХОДУЕМЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

При подготовке титановых электродов для переплавки в вакуумной дуговой печи (ВДП) с расходуемым электродом образуется титановая стружка. Что бы определить химический состав стружки необходимо сначала переплавить ее в слиток. Для плавки будет рассматриваться ВДП с нерасходуемым электродом. Для точного определения химического состава необходимо минимизировать скорость испарения. Для этого нужно в камере поддерживать высокое давление. Титан при больших температурах является активным металлом, который может вступать в реакцию с атмосферой, поэтому плавка должна вестись в аргоновой среде. Дуговой нагрев предпочтителен, так как титан имеет высокую температуру плавления и низкую электропроводность. Перед плавкой из печи откачивают атмосферной газ, после чего закачивают аргон. Плавка вводится в медном кристаллизаторе вольфрамовым электродом.

Для проектировки печи необходимо оценить требуемую мощность источника питания. В программном комплексе COMSOL был произведен расчет, который позволил получить эти данные. Для модели были подобраны все необходимые физические свойства в зависимости от температуры. Учитывается гравитация.

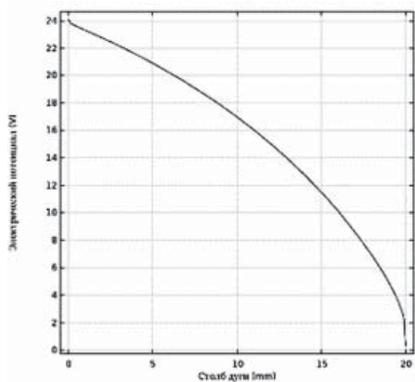


Рис. 1. Падение напряжения в столбе дуги

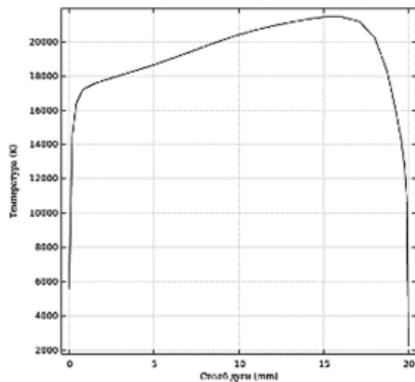


Рис. 2. Температура в столбе дуги

Литература

1. Comsol multiphysics reference manual // Comsol: электронно-библиотечная система. URL: <https://doc.comsol.com/6.3/docserver/#!/com.comsol.help.comsol/helpdesk/helpdesk.html>
2. Comsol multiphysics plasma module user's guide // Comsol: электронно-библиотечная система. URL: <https://doc.comsol.com/6.3/docserver/#!/com.comsol.help.comsol/helpdesk/helpdesk.html>

*К.А. Правосудько, М.О. Малышев, студ.;
рук. А.О. Кулешов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ СВАРКИ ТРУБ

Индукционный нагрев находит широкое применение при стыковой сварке стальных труб, поскольку позволяет выполнять сварку гораздо быстрее традиционных методов. Это позволяет применять его на поточных линиях производства стальных труб.

Система управления осуществляет автоматический нагрев соединения концов двух труб и дальнейший автоматический контроль сварного шва на наличие дефектов. Нагрев происходит в 2 этапа: сварка, термообработка шва. Образованные швы имеют неоднородную структуру и сохраняют остаточные напряжения, что связано с неравномерным нагревом. В области соединения температура металла достигает около 1500°C, что приводит к его плавлению, в то время как соседние участки остаются в твердом состоянии из-за меньшей температуры. В результате механическая прочность металла в области шва оказывается в 1,2–1,6 раза выше, чем у прилегающих зон и основного материала трубы.

Авторами предлагается система контроля, использующая хорошо зарекомендовавший себя ультразвуковой метод. После термообработки шва, труба проталкивается вперёд, пока система позиционирования не доведёт сварной шов до иммерсионной ванны, внутри которой установлен дефектоскоп. После позиционирования, труба вращается для охвата всего сварочного соединения, а получаемые данные автоматически обрабатываются, архивируются и передаются на экран оператора установки.

Литература

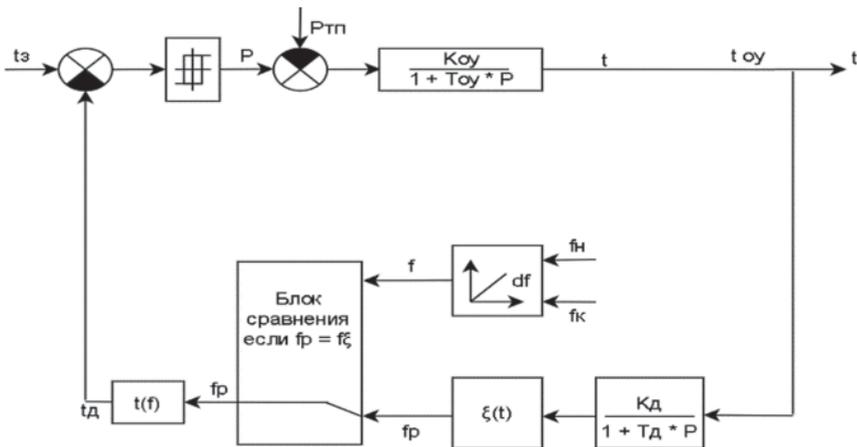
1. **Е.Н. Туренкова** Разработка технологических основ индукционной точечной сварки / Е.Н. Туренкова, И.Ю. Долгих, Л.Б. Корюкин; ИГЭУ — Иваново: Энергия-2019; 64 с.
2. **В.С. Мараев** Автоматизация математического моделирования технологического процесса индукционной пайки / В.С. Мараев; Известия ЮФУ. Технические науки; УДК 621.372.83.001.24; 46 с.
3. А. с. 200681 СССР, УДК 621.791.77.037-462. Машина для стыковой индукционной сварки труб / В.М. Корсунов, Л.Я. Писарев, К.В. Михайлов, К.П. Радченко, — №1108304/25-27; заявл. 21.10.1966; опубл. 13.09.1972, Бюл. № 27.
4. Индукционные системы нагрева при сварочных работах, ООО ТСК — URL: <https://www.tck-spb.ru/articles/indukcionnaya-sistema-nagreva>.

*А.И. Василенко, К.В. Северин, А.Ю. Гераскин;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА С ПЬЕЗОКВАРЦЕВЫМ РЕЗОНАНСНО-ЧАСТОТНЫМ ДАТЧИКОМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Современные системы электрообогрева требуют точного контроля температуры и эффективного управления энергопотреблением. Применение пьезокварцевых резонансно-частотных датчиков температуры (ПКРЧД) открывает новые возможности для построения распределенных систем термоконтроля. Для исследования динамических характеристик таких систем и оптимизации их параметров целесообразно использовать методы имитационного моделирования в среде *MATLAB/Simulink* [1].

Программная реализация релейного двухпозиционного регулятора температуры системы электрообогрева основана на функциональной схеме системы управления с датчиком температуры.



Результаты моделирования показывают, что система обеспечивает требуемое качество регулирования температуры. При ступенчатом изменении задания время переходного процесса составляет 400–500 с, перерегулирование не превышает 15%.

Литература

1. **Смирнов Г.Б., Томашевич В.Г.** Линейные системы управления в пакете *MATLAB*: учебное пособие. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 76 с.

Ф.Р. Сулейманов, асп., М.С. Осипова, студ.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф., А.Р. Лепешкин, д.т.н. проф.,
С.С. Кондрашов, к.т.н. (НИУ«МЭИ»)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАНЕСЕНИЕМ И ИНДУКЦИОННЫМ ОПЛАВЛЕНИЕМ

Газотермические покрытия, полученные в результате напыления, по своей структуре являются в значительной степени пористыми. К существенному недостатку газопламенных покрытий также относится их относительно невысокая адгезионная прочность. Проведенный сравнительный анализ позволил установить, что наиболее предпочтительный способ температурного воздействия на напыленные покрытия — индукционный нагрев токами средней и высокой частоты [1]. У него есть характерное преимущество — индукционное оплавление проходит непосредственно в узкой зоне сцепления поверхности стальной детали с покрытием. В работе рассматривается методика проведения и результаты исследований механических свойств (твердости и износостойкости) коррозионно-стойких покрытий стальных деталей, полученных газотермическим нанесением и индукционным оплавлением. Представлены результаты исследований износостойкости и распределений твердости по глубине коррозионно-стойкого покрытия и по радиусу цилиндрической детали без закалки и с учетом закалки. Применение разработанного технологического процесса с использованием режимов индукционного нагрева и разработанной установки дает следующие преимущества: равномерность нагрева и получение равнотолщинного покрытия по рабочей длине детали, отсутствие термонапряжений, устранение пористости, повышение твердости и износостойкости рабочей поверхности, автоматизацию технологического процесса, снижение влияния человеческого фактора на конечный результат. Таким образом, создана повторяемая технология с точки зрения получения заданной твердости и износостойкости коррозионно-стойкого покрытия и равномерного химического состава по поверхности детали.

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.А. Перезябов, асп.;
рук. М.Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Прецизионные процессы — технологические процессы, к которым предъявляются особые требования по точности регулирования технологического параметра. В электрических печах сопротивления (ЭПС) под прецизионностью понимается возможность поддержания температуры на заданном уровне с точностью до десятых долей градуса, что необходимо в целом ряде технологических процессов, например, при выращивании монокристаллов и эпитаксиальном росте карбидо-кремниевых пластин. Прецизионность в ЭПС достигается как за счет конструкторских решений, так и за счет выбора метода регулирования температурного режима. Широко используемые системы регулирования температуры с тиристорными регуляторами напряжения (с фазоимпульсным управлением) в качестве исполнительных устройств характеризуются наличием колебаний температуры в пределах градуса и значительным негативным влиянием на качество электроэнергии, особенно при больших углах открывания тиристорov. Избежать указанных недостатков позволяет использование транзисторных регуляторов напряжения с высокочастотным широтно-импульсным управлением.

В результате исследования методом структурного математического моделирования определена потребная частота широтно-импульсной модуляции для таких регуляторов — не менее 2 кГц.

Значительный интерес представляет исследование стационарных и нестационарных температурных режимов ЭПС для прецизионных процессов. При этом используется сочетание математических методов расчета температурных полей (например, с использованием платформы COMSOL) и методов структурного имитационного моделирования. Структурные модели, реализуемые, например, в среде SimInTech, предназначены для исследования нестационарных процессов в ЭПС и строятся на основе энергетического баланса для макроэлементов печи — нагревателей, частей футеровки и загрузки. Связи между макроэлементами описываются на основе законов теплопередачи.

Литература

1. **Яров В.М.** Источники питания электрических печей сопротивления: Учебное пособие. — Чебоксары: ЧГУ, 1982. — 122 с.
2. **Рубцов В.П., Щербаков А.В.** Системы автоматического управления электрическими печами сопротивления. — М.: Изд-во МЭИ, 2015. — 56 с.

*А.А. Ушаков, студ., М.Л. Зотов, студ.;
рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф.,
М.А. Федин, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В КООКСИАЛЬНОМ КАБЕЛЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Передача электроэнергии по линиям на небольшие расстояния для энергосбережения и электроснабжения малых электропотребителей является актуальной проблемой современной малой электроэнергетики. Для передачи электроэнергии на указанные расстояния используется традиционно трёхфазная система передачи электрической энергии на промышленной частоте. У данной системы есть много недостатков: большие потери электроэнергии в проводах, частые короткие замыкания проводов, большое потребление цветных металлов. Для решения данной проблемы возможно применить коаксиальную кабельную линию в электротехнологической системе передачи электроэнергии повышенной частоты. При этом снижаются материальные затраты на электротехническое оборудование и трансформаторы (значительно уменьшаются их габариты). Электротехнологическая система повышенной частоты состоит из: источника электрической энергии, передающего преобразователя частоты и трансформатора, высоковольтной кабельной линии (коаксиального кабеля), первого и второго трансформаторов и приёмного преобразователя частоты. К первому трансформатору присоединяется одно-или трёх фазная нагрузка и ко второму трансформатору подключаются устройства индукционного нагрева (УИН) с индукторами [1] и другие устройства.

В данной работе приведены результаты численного моделирования и исследований параметров электромагнитного поля в коаксиальном кабеле электротехнологической системы повышенной частоты с использованием метода конечных элементов. Получены параметры электромагнитного поля и распределения плотности тока в коаксиальном кабеле. Проведен анализ распределений плотности тока и других параметров в поверхностных слоях внутреннего проводника и внешней оболочки кабеля в условиях электромагнитного поля повышенной частоты.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. — М.: Инфра-М, 2024. 273 с.

*М.С. Осипова, студ., Ф.Р. Сулейманов, аспирант;
рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф., М.А. Федин, д.т.н. проф.,
С.С. Кондрашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОПЛАВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В работе рассматривается моделирование процесса индукционного нагрева [1, 2] для оплавления коррозионно-стойких покрытий рабочих поверхностей стальных деталей. Процесс индукционного нагрева описывается нелинейным дифференциальным уравнением относительно напряженности магнитного поля и нестационарным уравнением теплопроводности. Построение конечно-элементной модели начинается с описания геометрии и материалов. Выбранная геометрия состоит из трех колец катушки индуктора (к которой прикладывается электрическое напряжение), стальной детали с покрытием в виде цилиндра диаметром 20 мм (с нанесенным покрытием со средней толщиной 0,6 мм) и значительной конечно-элементной области для моделирования электромагнитного поля в

окружающей деталь среде. На основе анализа глубины проникновения тока в коррозионно-стойкое покрытие в зависимости от частоты тока индуктора выбраны рабочая частота тока 66 кГц и соответствующие этой частоте параметры индукционной установки повышенной частоты для обеспечения максимального тепловыделения в коррозионно-стойком покрытии при его индукционном оплавлении на поверхности стальной цилиндрической детали.

Проведены расчеты и исследования поверхностных распределений плотности тока и температуры по длине детали при индукционном нагреве. Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований индукционного нагрева, теплового состояния стальной детали с покрытием. Выполнено сравнение расчетной и экспериментальной кривых нагрева поверхности стальной детали с покрытием с учетом двух точек Кюри.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. — М.: Инфра-М, 2024. 273 с.
2. **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.А. Туманян, асп.;
рук. В.А. Калинин, к.т.н., М.А. Федин, д.т.н., проф., (НИУ «МЭИ»)

ТЕРМОКОНТРОЛЬ КОМПЛЕКТНО- РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Автоматический контроль и мониторинг температуры контактных соединений токоведущих шин и кабельных вводов в комплектных распределительных устройствах при их работе в различных нагрузочных режимах является актуальной научно-технической задачей. Проведенный сравнительный анализ существующих технологий позволил установить, что наиболее предпочтительной технологией температурного контроля и онлайн мониторинга ячеек комплектных распределительных устройств является акустоэлектронная технология с применением отечественных пассивных радиочастотных датчиков, выполненных на базе пьезоэлектрических материалов и специализированных опрашивающих по радиоэфиру считывающих устройств радарного типа. У данной технологии есть характерное преимущество — контроль температуры происходит вне зависимости от протекающего тока в контролируемом контактном соединении. В работе рассматривается методика проведения и результаты исследований температурных характеристик акустоэлектронных датчиков, опрашиваемых по радиоканалу в широком диапазоне рабочих температур. Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик акустоэлектронного комплекта аппаратуры, полученных в рамках стендовых испытаний.

Применение акустоэлектронных технологий с использованием пассивных датчиков и специализированных считывателей радарного типа дает следующие преимущества: абсолютную гальваническую развязку между фазными шинами и заземленным корпусом комплектного распределительного устройства, точную идентификацию датчиков за счет их частотного разделения, автоматизацию мониторинга температурного состояния контактных соединений в режиме онлайн, повышение надежности эксплуатации ячеек комплектных распределительных устройств, снижение влияния человеческого фактора на результаты термоконтроля. Таким образом, показана перспективность применения акустоэлектронных технологий в технологических процессах температурного мониторинга комплектных распределительных устройств.

Д.А. Журавлев, соиск.;

рук. В.А. Калинин, к.т.н., М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА ТЕРМОКОНТРОЛЯ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ, ОСНАЩЕННЫХ СКИН СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Автоматический контроль и онлайн мониторинг температуры протяженных трубопроводов (до 20 км), оснащенных скин системой электрообогрева особенно на конечных ее участках имеет в настоящее время известное техническое решение, основанное на применении классических датчиков температуры, запи- тываемых от специальных модемов, которые опрашивают датчики и передают данные о температуре только в моменты подачи греющего напряжения в скин систему и не могут контролировать температуру в конце трубопровода когда скин система отключена от питающего напряжения, что в свою очередь может приводить к нештатному его переохлаждению и неудовлетворительной работе системы электрообогрева в целом.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является поиск такого технического решения, которое бы работало на иных принципах и позволило контролировать температуру в конце протяженного трубопровода вне зависимости от наличия питающего напряжения на элементах скин системы электрообогрева, при этом питающие элементы скин системы являлись бы средой для передачи информации о температуре трубопровода.

Проведенный сравнительный анализ существующих методов термоконтроля в конце протяженных трубопроводов со скин ситемой электрообогрева позволил установить, что наиболее перспективной технологией онлайн мониторинга и температурного контроля таких трубопроводов является применение предлагаемой высокочастотной системы распределенного термоконтроля «Гирлянда-СКИН» выполненной на базе отечественных акустоэлектронных пассивных резонансно- частотных датчиков и специализированного опрашивающего устройства с моду- лями развязки от высокого питающего напряжения и электрического тока.

Показана структура и состав высокочастотной системы «Гирлянда-СКИН», даны ее расчетные технические характеристики и приведены требования к параметрам и схеме включения скин системы электрообогрева, позволяющими получить максимальную дистанцию опроса акустоэлектронных пассивных резонансно-частотных датчиков до 20 км.

В работе показаны преимущества рассматриваемой системы распределенного термоконтроля «Гирлянда-СКИН» по сравнению с аналогами и экономические перспективы ее применения в новых проектах.

*А.И. Василенко, К.В. Северин, студ.; Я.С. Негробов, соиск.;
рук. В.А. Калинин, к.т.н., М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ТЕРМОКОНТРОЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТОЭЛЕКТРОНИКИ

Автоматический контроль и онлайн мониторинг температуры протяженных объектов, оснащенных системой электрообогрева имеет в настоящее время ряд известных технических решений, основанных как правило на применении либо цифровых, либо аналоговых датчиков температуры, которые имеют существенные недостатки: требуют подачи на них питающего напряжения или тока, имеют низкую помехозащищенность, особенно на протяженных участках 100 м и более, а также аналоговые датчики требуют существенных затрат кабельных линий для их подключения и экранирования, а цифровые датчики смонтированные на одной линии связи ограничены максимальной дистанцией их опроса не более 400 м из-за больших омических потерь в линии и из-за существенного влияния интерференционных эффектов внутри нее. Таким образом, актуальной научно-технической задачей является поиск такого технического решения, которое бы позволило исключить имеющиеся у аналогов недостатки и при этом повысить точность и количество точек температурного контроля на заданном участке трубопровода.

Проведенный сравнительный анализ существующих методов термоконтроля протяженных объектов с системой электрообогрева позволил установить, что наиболее перспективной технологией онлайн мониторинга и температурного контроля таких объектов является применение предлагаемой системы распределенного термоконтроля «Гирлянда-СЭО», выполненной на базе отечественных акустоэлектронных пассивных резонансно-частотных датчиков и специализированного опрашивающего устройства. При этом, акустоэлектронные резонансно-частотные датчики имеют индивидуальную резонансную частоту, которая зависит от их температуры и монтируются они на одну двухпроводную линию с заданным интервалом.

В работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований температурных и динамических характеристик акустоэлектронных резонансно-частотных датчиков, опрашиваемых по двухпроводной линии в широком диапазоне рабочих температур. Показаны преимущества рассматриваемой системы «Гирлянда-СЭО» по сравнению с аналогами и экономические перспективы ее применения в новых проектах.

М.Л. Зотов, студ.;
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА

На сегодняшний день индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) наиболее оптимизированы под задачи электрообогрева протяженных трубопроводов. Подача питания с одного конца обогреваемого участка позволяет отказаться от сопровождающей электросети.

Как и любой современный промышленный объект, комплекс с ИРСН требует автоматизации и внедрения современных технологий для соответствия концепции индустрии 4.0.

Внедрение цифрового двойника (ЦД) в такие комплексы позволит сделать их более безопасными и экономически эффективными. Кроме того, это позволит проще и быстрее обучать рабочий персонал, а предсказание неисправностей уменьшит количество выездов аварийной бригады.

На рисунке 1 изображена структурная схема цифрового двойника. По ней видно, что ЦД работает параллельно с объектом, получая с датчиков данные о его параметрах. Они используются в качестве входных данных для расчётов и сравниваются с полученными результатами. ЦД анализирует характер и степень отклонения параметров объекта от эталонных и прогнозирует его дальнейшее поведение, передавая отчёт об этом персоналу посредством человеко-машинного интерфейса.

Не менее полезным было бы и применение облачных технологий. Например, для удалённого мониторинга состояния объекта и управления им. Это позволило бы сократить количество обслуживающего персонала, тем самым повысив экономическую эффективность. Важно отметить, что современные облачные сервисы диспетчеризации обходятся дешевле локальных SCADA-систем, хотя имеют ряд преимуществ над ними.

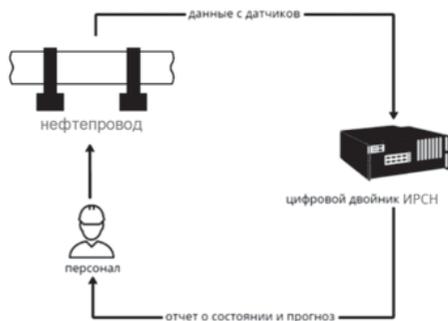


Рис. 1. Структура цифрового двойника комплекса электрообогрева на основе ИРСН

Литература

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева нефтегазовой отрасли: справочная книга / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин — Москва: Инфра-Инженерия, 2015.

*А.В. Молостова, аспирант;
рук. М.Ф. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧИСЛА ФАЗ ДЛЯ ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННО- РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА

Индукционно-резистивные системы нагрева требуют точного контроля мощности и фазы для эффективного и стабильного нагрева материалов. Поэтому в системах питания и симметрирования однофазной промышленной нагрузки большой мощности требуется применение специальных технических средств. Выбор между электромагнитным и полупроводниковым преобразователем зависит от конкретных условий эксплуатации.

Сравнительный анализ электромагнитного и полупроводникового преобразователя числа фаз для питания индукционно-резистивной системы включает несколько ключевых аспектов, таких как устойчивость к перегрузкам, эффективность, управляемость и технические характеристики. Оба типа преобразователей имеют свои сильные стороны и могут использоваться для питания системы, однако существуют критические отличия эффективности использования в зависимости от специфики применения и условий работы.

Благодаря управлению фазами в реальном времени, полупроводниковые преобразователи подходят для высокоточных и управляемых процессов, обеспечивая возможность гибкого регулирования процесса нагрева.

Учитывая специфические характеристики работы, связанные с суровыми климатическими условиями применения индукционно-резистивных систем с повышенными требованиями к прочности и долговечности, высокая мощность и устойчивость к перегрузкам электромагнитных преобразователей является наиболее важным критерием, чем точность фазового контроля их полупроводниковых аналогов.

Таким образом, оба типа преобразователей имеют свои сильные стороны. В условиях, где требуется высокая мощность и механическая устойчивость, электромагнитные преобразователи числа фаз имеют явные преимущества по критериям эффективности и долговечности.

Литература

1. **Назаров С.Л.** Преобразователи числа фаз в электротехнологии: учебное пособие // 2019.

Секция 28

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»)

СВОЕВРЕМЕННАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ — ЗАЛОГ ВЫСОКОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ

В настоящее время существует проблема, связанная с городским электрическим транспортом, которая заключается в необходимости своевременной модернизации всей системы. Специалисты в области урбанистики часто считают, что обновление парка подвижного состава является ключевым фактором успеха модернизации, составляя половину всего успеха. В то же время изменение маршрутной сети и увеличение парности на маршрутах составляют 30% успеха. К сожалению, эти стереотипы привели к ряду серьёзных проблем, которые могут иметь негативные последствия для общества.

Анализируя проблему, можно выделить основные ошибки: пренебрежение модернизацией питающих центров, тяговых подстанций, контактной сети и их опор, кабельных линий и рельсовых путей. Необходимо уделить первостепенное внимание модернизации инфраструктуры, поскольку специфика городского электрического транспорта заключается в его снабжении «топливом». Если не создать идеальные условия для передачи электроэнергии, то не будет смысла в закупке подвижного состава.

Делаем вывод, что при планировании бюджетов на модернизацию городского электрического транспорта необходимо в первую очередь уделить внимание инфраструктурным вопросам и предусмотреть возможность увеличения пропускной способности на наиболее востребованных маршрутах. Для этого необходимо провести аналитическую работу, включая тяговые электрические расчёты. На основе полученных данных можно будет спланировать полный объём модернизации и строительства с учётом необходимых запасов. Только после завершения всех строительных работ можно будет приступить к вопросу обновления подвижного состава и развития маршрутной сети.

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.
2. Правила технической эксплуатации трамвая / (утв. Распоряжением Минтранса России от 30.11.2001 N АН-103-р).

Д.С. Вислогузов, студ.;
рук. В.А. Глушенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА НА 825 В

Электрооборудование трамвайного вагона можно условно разделить на две категории: тяговое и вспомогательное. Тяговое электрооборудование включает в себя электродвигатели, токоприемники, коммутационные устройства, защитные аппараты, полупроводниковые компоненты и измерительные приборы. Вспомогательное оборудование включает системы вентиляции тягового электрооборудования, компрессоры, системы отопления и кондиционирования салона, а также освещение. Требования к электрооборудованию зависят от условий его эксплуатации. В отличие от электрооборудования стационарных установок, электрооборудование электрического транспорта функционирует в более сложных условиях.

В настоящее время трамвайное движение в г. Москве передано под управление ГУП «Московский метрополитен» в связи с этим становится актуальным вопрос о переводе системы электроснабжения трамвайного сообщения на повышенное напряжение для унификации систем электроснабжения. По результатам расчетов повышение напряжения в контактной сети в 1,4 раз позволяет снизить потери в ней в 2 раза и повысить энерговооруженность транспортных средств, а следовательно, динамические показатели транспортных средств. Повышение напряжения в контактной сети положительно скажется на энергетическую эффективность рекуперации в режиме торможения. К недостаткам этого можно отнести повышение требований к изоляционной стойкости электрооборудования трамвайного вагона и системы электроснабжения и его удорожание. Повышение напряжения позволит осуществлять больший объем перевозок без увеличения количества тяговых подстанций. В работе проведено моделирование тягово-энергетических расчетов, подтверждающих эффективность перевода на повышенное напряжение и проанализированы необходимые изменения в тяговом электрооборудовании. С точки зрения электробезопасности электрооборудование трамвайного вагона не выходит за пределы требований к энергоустановкам до 1000 В и не требует существенного увеличения изоляции так как имеет заземление по рельсовой цепи.

Литература

1. **Тарнижевский М.В., Томлянович Д.К.** Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса. — М.: Транспорт, 1986. — 376 с.
2. **В.В. Шевченко, Н.В. Арзамасцев, С.С. Бодрухина,** Электроснабжение наземного городского электрического транспорта: — М.: Транспорт, 1987 — 272 с.

Д.С. Яценко, студ.; рук. О.С. Саможей, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

УСИЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНОГО ТРАМВАЯ

Возрастающий объём внутригородских пассажирских перевозок в крупных городах требует создания нового подразделения транспортных средств на базе современных технологий и технических решений, обеспечивающих максимальную пропускную способность пассажирских перевозок.

Проект скоростного трамвая — оптимальный вариант модернизации старых маршрутов и развития новых линий, сочетающих в себе высокую скорость сообщения (35 км/ч), низкий шум, выделяемый его системами, за счет модернизации типовой схемы укладки рельс. Совместно с тяговыми сетями трамвая можно устанавливать зарядные станции для электробуса, что позволит избежать дополнительных трат на создание изолированной инфраструктуры. Подвижной состав можно использовать разный, при соответствии техническим требованиям проекта.

Проектные решения предусматривают, что не модернизированные участки тяговой сети (рельсовый путь и контактная сеть), продолжают функционировать в обычном режиме для существующих трамвайных линий, что подходит для маршрутов с часто расположенными остановками. Участки же скоростного трамвая будут отделены от проезжей части ограждением или будут прокладываться с отступом от неё. Предусматривается строительство эстакад, которые позволят сэкономить место, ведь скоростные трассы находятся на уровень выше. Перечисленные мероприятия позволят увеличить среднюю разрешенную скорость в городской среде, а также увеличить выдаваемую мощность тяговой подстанции до 130%.

Преобразование существующих маршрутов трамваев приводит к замене или усилению дополнительными контактными проводами участков тяговой сети для повышения пропускной способности, например с МФ-85 на МФ-100, что косвенно приведет к увеличению скорости сообщения. Дальнейшие меры модернизации системы тягового электроснабжения включают: замену опор контактных сетей, расчет подвесок, пересчет мощностей на тяговых подстанциях, а соответственно и замену оборудования.

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.

А.А. Кузнецов, студ.; рук. О.С. Саможей, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ЗАРЯДНАЯ СТАНЦИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С НАКОПИТЕЛЕМ

Быстрый рост популярности электромобилей в последние годы приводит к значительному увеличению нагрузки на существующую энергетическую инфраструктуру. Основными ограничениями в этом контексте являются недостаточная развитая сеть зарядных станций и неравномерное распределение нагрузок на электросети. Эти факторы создают препятствия для широкого внедрения электромобилей и устойчивого развития отрасли. Решение данных проблем является важной задачей для обеспечения эффективного использования возобновляемых источников энергии и обеспечения стабильности энергоснабжения, что подчеркивает высокую актуальность рассматриваемой темы.

В рамках данного исследования представлен анализ современных технологий зарядки электромобилей с акцентом на внедрение накопителей энергии в зарядные станции. Это направление является относительно новым и перспективным, поскольку позволяет не только сглаживать пиковые нагрузки, но и повышать энергоэффективность системы в целом. Разработанное инновационное решение, сочетающее различные типы зарядных станций с накопителями энергии, обеспечивает улучшение процесса зарядки, повышение удобства использования и снижение затрат на электроэнергию.

Проведено исследование существующих проблем энергетической инфраструктуры в условиях роста популярности электромобилей. Внесены предложения по интеграции накопителей энергии в систему зарядных станций, что способствует решению вопросов недостаточной мощности сети и пиковых нагрузок.

В будущем полученные результаты могут быть применены для модернизации существующей сети зарядных станций может решить некоторые проблемы, связанные с недостаточной мощностью сети, временными пиками потребления энергии и дорогостоящими затратами на электроэнергию. В настоящее время, распространены несколько видов зарядных станций для электромобилей: стандартные станции постоянного и переменного тока, быстрые зарядные станции, а также умные станции с возможностью управления зарядкой и подключением к сети интернет.

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.

П.Н. Белоногов, студ.;
рук. Р.М. Девликамов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПАРАМЕТРЫ ЩЕТОЧНОГО КОНТАКТА ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Электроподвижной состав является ключевым элементом железнодорожной инфраструктуры, обеспечивая высокую эффективность и надежность перевозок. Одним из ключевых элементов ЭПС являются тяговые двигатели, которые требуют высококачественных контактных систем для передачи энергии от источника питания к двигателям. Щеточный контакт играет важную роль в этой системе, обеспечивая эффективный и стабильный электрический контакт между коллекторами и щетками.

Целью данного исследования является анализ параметров щеточного контакта тяговых двигателей ЭПС с целью оптимизации их работы и повышения эффективности эксплуатации ЭПС. В рамках исследования будут рассмотрены следующие аспекты:

1. Теоретические основы: изучение основных принципов работы щеточного контакта и его влияния на работу тягового двигателя.
2. Экспериментальные методы: проведение экспериментов для оценки влияния различных параметров (материал щеток, геометрия коллектора, давление на щетку и др.) на качество контакта и производительность ЭД.
3. Анализ данных: обработка и анализ полученных данных для определения оптимальных значений параметров щеточного контакта.
4. Рекомендации по улучшению: разработка рекомендаций по улучшению характеристик щеточного контакта для повышения эффективности и надежности работы ТД.

Данное исследование направлено на повышение качества и долговечности тяговых двигателей, что будет способствовать снижению затрат на эксплуатацию и ремонт ЭПС, а также повышению безопасности и комфорта ЖД перевозок.

Литература

1. Девликамов Р.М.: «Анализ и исследование токосъема с коллекторов электродвигателей железнодорожного транспорта».
2. Карасев М.Ф.: «Коммутация коллекторных машин постоянного тока».
3. Вегнер О.Г.: «Теория и практика коммутации машин постоянного тока».
4. Лившиц П.С.: «Скользющий контакт электрических машин».

А.Д. Турецкий, студ.; рук. О.С. Саможей, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ТРАМВАЙ С АВТОНОМНЫМ ХОДОМ

Темпы развития трамвайного сообщения в крупных городах напрямую связаны с организацией инфраструктуры, в том числе рельсовой и контактной сетей, остановочных пунктов, депо. В связи с этим сроки строительства увеличиваются, а затраты растут. Кроме того, в исторических центрах крупных городов есть необходимость убрать контактную сеть и другие провода для воссоздания архитектурного облика культурных объектов. На некоторых маршрутах предлагается использовать трамвай с возможностью автономного хода, который можно будет использовать там, где есть рельсы, но при этом не готова остальная инфраструктура.

Реализация данного проекта возможна при условии модернизации части вагонного парка трамваев, установкой на них дополнительных аккумуляторов или суперконденсаторов, развитию сети промежуточных зарядных станций, а также возведения отдельных участков КС для подзарядки.

Проектные решения предусматривают, что трамвай данного типа будут эксплуатироваться на линиях смешанного типа с КС и без неё. В режиме автономного хода трамвай проходит участок на одном заряде, при наличии контактной сети подключается к ней, либо с подзарядками в промежуточных точках на остановках.

Вся система электроснабжения при этом подвержена пересчету параметров тяговой сети, выполнению рекомендаций по усилению или замене контактных проводов, размещению зарядных станций, а также определению их технических параметров.

В работе предложено применение суперконденсаторов на подвижном составе, которые предназначены для накопления энергии торможения в суперконденсаторном накопителе и ее последующего использования при разгоне, а также снижении потребляемой мощности от тяговых подстанций с одновременной стабилизацией параметров контактной сети.

При использовании суперконденсаторов в трамваях с автономным ходом предполагаются следующие преимущества: устойчивость к температурам (актуально для северных регионов), большое количество циклов заряда (до миллиона), высокая скорость зарядки (актуально для маршрутов с промежуточными зарядками), уменьшение затрат на строительство инфраструктуры.

Литература

1. **Горев А.Э. Попова О.В.** Развитие городского пассажирского транспорта // Транспорт Российской Федерации № 2 (81). — 2019. — С. 45–47.

У.С. Бакиров, студ.; рук. О.С. Саможей, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Современные системы тягового электроснабжения (ТЭ) играют ключевую роль в обеспечении надежного и эффективного транспортного решения. Однако они сталкиваются с рядом проблем, таких как устаревшие технологии и необходимость повышения надежности и эффективности. В условиях постоянного увеличения количества электрического транспорта внедрение инновационных решений, таких как искусственный интеллект (ИИ), становится актуальным.

Анализ существующих систем ТЭ выявил необходимость их модернизации. Основные проблемы включают устаревшие решения, которые не учитывают современные возможности обработки и анализа данных, а также нехватку инструментов для анализа больших объемов данных в реальном времени, что затрудняет оперативное управление.

Исследования показали, что внедрение ИИ в системы ТЭ предоставляет ряд значительных преимуществ: ИИ способен выполнять множественные задачи, анализируя данные в реальном времени, что снижает трудозатраты и повышает производительность. Использование ИИ для предсказания неисправностей на основе анализа исторических и текущих данных позволяет заранее планировать техническое обслуживание, что сокращает риски простоев и повышает надежность систем.

Кроме того, ИИ способствует оптимизации интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветряные электростанции, в существующие системы. Создание «умных» сетей позволит разрабатывать системы, которые автоматически адаптируются к изменениям в потреблении и генерации энергии, повышая устойчивость и гибкость.

Внедрение ИИ в системы тягового электроснабжения является стратегически важным шагом к устойчивому развитию, предоставляя возможность оперативно корректировать нагрузки в виде подвижного состава, оптимизировать маршруты согласно меняющемуся пассажиропотоку. Все это не только улучшает экономические показатели, но и способствует эффективному применению экологически чистых технологий, что соответствует современным требованиям и вызовам.

Литература

1. **Петров, В.А., и Смирнов, А.П.** (2021). «Анализ и прогнозирование нагрузки в системах электроснабжения с использованием искусственного интеллекта.» Стр. 74–81.
2. **Батурын, А.Н.** (2020). «Интеграция возобновляемых источников энергии в системы электроснабжения.» Стр. 23–30.

М.М. Валуев, студ.; рук. В.Г. Комаров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

БЕСПИЛОТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАЛОМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСУДОВ

Беспилотные системы на маломерных электросудах включают автоматизированные навигационные технологии, системы управления движением и методы компьютерного зрения, что значительно повышает безопасность и эффективность эксплуатации. Эти технологии обеспечивают точную навигацию, предотвращение столкновений и оптимизацию маршрутов с учетом погодных условий, препятствий и других факторов. Важным аспектом является использование датчиков, таких как лидары, камеры и сонары, интегрированных с бортовыми компьютерами, которые обрабатывают информацию в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения в окружающей среде.

Разработка беспилотных систем управления требует комплексного подхода, как представлено на рис. 1, включая проектирование устойчивых к отказам архитектур управления, создание интуитивно понятных пользовательских интерфейсов и обеспечение кибербезопасности.

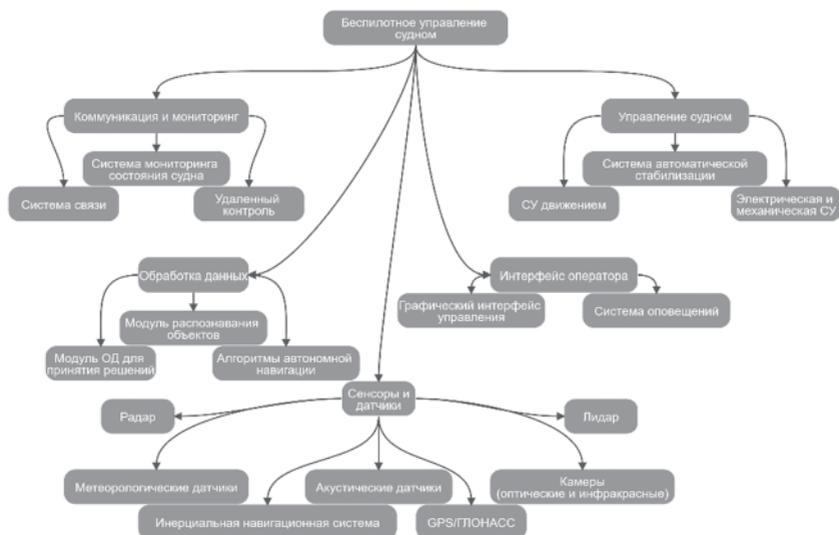


Рис. 1. Схема беспилотного управления судном

Литература

1. Зайцев А.И., Каретников В.В. и др. «Беспилотные технологии на водном транспорте — реальность и перспективы».

И.С. Шатинский, студ.; рук. Ю.В. Рашек, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДУОБУСА

В настоящее время остро стоят вопросы экологии и экономии топливно-энергетических ресурсов автомобильного и городского пассажирского транспорта. Одним из решений является широкое использование тягового электропривода не только для контактного электрического пассажирского транспорта, но и для автономных транспортных средств. Сейчас автономный пассажирский транспорт представлен в России автобусами, электробусами, троллейбусами с автономным ходом. Гибриды, водоробусы и дуобусы представлены опытными образцами. Работа посвящена дуобусу.

Дуобус — это автономное транспортное средство, имеющее два источника энергии — тепловой двигатель и контактную сеть. Дуобус способен подключаться к контактной сети, подобно троллейбусу, и двигаться от энергии теплового двигателя, подобно автобусу. В отличие от автобуса, тепловой двигатель дуобуса рассчитывается не на пиковую мощность, а на среднюю с учетом собственных нужд и запаса, что меньше примерно на 30–40%. Пики потребления покрываются за счет энергии накопителя, а тепловой двигатель работает в оптимальном режиме с наибольшим КПД. За счет этого, расход топлива у дуобуса меньше, чем у автобуса, и здесь он подобен последовательному гибриду. Но, в отличие от последнего, дуобус способен в центре города работать без выбросов вредных выбросов, работая от контактной сети. Наиболее близким конкурентом дуобуса является троллейбус с автономным ходом. Таким образом, дуобус является намного более экологичным, чем автобус, будучи таким же автономным, и способен заменить его на городских и пригородных маршрутах.

В работе рассчитывается электрооборудование дуобуса. Выполнен расчет мощности ДВС и тягового генератора, проведено сравнение различных типов накопителей энергии. Определены параметры элементов для создания комплекта электрооборудования дуобуса.

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.

*А.Ш. Сафонов, студ.;
рук. З.М. Шакурова, доцент, к.т.н. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКЕ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Система динамической беспроводной зарядки позволяет заряжать электро-транспорт при его движении по дороге. Для беспроводной передачи энергии в таких системах используется пара катушек, одна из которых располагается в дорожном полотне, другая установлена в электромобиль.

Большая часть потерь энергии происходит в воздушном зазоре между катушками из-за постоянного движения автомобиля. Главным параметром для оценки эффективности передачи энергии является коэффициент связи, который зависит от соосности катушек, величины воздушного зазора и скорости движения [1].

В резонансных системах зарядки можно получить КПД системы более 90%, но для нормальной работы зарядки требуется точно рассчитать параметры катушек, а также выбрать системы регулировки частоты питающей сети.

Для обеспечения одинакового КПД системы при увеличении воздушного зазора используют системы регулировки емкости конденсаторов в цепи зарядки. Для динамических систем зарядки эффективное расстояние воздушного промежутка составляет до 12 см. Максимально допустимая дистанция питания при этом составляет 20 см.

Для повышения общей эффективности системы также требуется уменьшить колебания выходного напряжения на стороне электромобилia. Как правило, для этого используют следующие методы: применение многообмоточных систем зарядки, систем LC-фильтров и DC-DC преобразователей.

Литература

1. Сафин А.Р., Козырев А.Б., Петров Т.И., Низамиев М.Ф., Басенко В.Р., Лямзина Д.Ю. Определение параметров катушек индуктивности устройства индукционного зарядного для бесконтактного способа зарядки электротранспорта. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022;24(5):74-83. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-5-74-83>

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 29

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Technosphere safety

Председатель секции: д.т.н., доцент Кондратьева Ольга Евгеньевна

Секретарь секции: к.т.н., доцент Локтионов Олег Александрович

В.А. Косарев, студ.; рук. А.А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЖЕСТОЧЕНИЕ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ СЫРЬЯ НА МОЛОЧНЫХ КОМБИНАТАХ РФ

Членство России во Всемирной торговой организации (ВТО) обязывает законодательную власть постоянно совершенствовать организацию пищевых производств с учетом современных достижений науки и практики, в том числе в области ветеринарной санитарии и гигиены, с целью получения конкурентоспособной продукции на отечественных и зарубежных рынках. Действующие с 01 июля 2019 года требования о так называемых «раздельных полках» для молочной продукции наряду с введением обязательной маркировки в рамках Постановления Правительства РФ от 15.12.2020 № 2099 по мнению экспертов, не достаточны.

Так, по данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) наибольший удельный вес неудовлетворительных проб приходится на сливочное масло и сыр. Исследованные пробы чаще всего не отвечают обязательным требованиям по жирно-кислотному составу, наличию растительных жиров, и присутствию антибиотиков. Фактически на производство сливочного масла и сыра идет самое некачественное сырье. Представители бизнеса и экспертное сообщество отмечают, что, несмотря на принятые меры сельхозоворопроизводители молока равно как и производители комбикормов не всегда предоставляют полный список используемых антибиотиков, тем самым перекладывая ответственность за наличие антибиотиков в сырье на молочные комбинаты. Практика показывает, что осуществление качественного мониторинга сырья на присутствие всех антибиотиков, на стадии приемки молочного сырья комбинатом выполнить сложно, а фактически не представляется возможным ввиду коротких сроков годности сырья. Порядок, методы и периодичность вышеуказанного мониторинга определяется каждым предприятием самостоятельно в программах производственного контроля.

Учитывая вышеизложенное, «погоня за литражом» со стороны предприятий-производителей молока, и зачастую отсутствие реального входного контроля сырья на стадии приемки со стороны предприятий -переработчиков ведут к снижению качества молочной продукции для потребителей. На сегодняшний день в России существует необходимость ужесточения контроля качества молочной продукции на всех стадиях производства, разработка комплексного подхода по примеру исполнения европейского стандарта EN 16936:2017, устанавливающего в свою очередь скрининг тилозина, виргиниамицина, спирамицина, бацитрацина-цинка и авопарцина в комбикормах.

Е.О. Куприков, студ.;
рук. А.В. Мордвинова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЗАЖИГАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА

Анализ условий возможного возникновения пожаров имеет крайне важное значение при решении вопроса обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий, на которых применяется различное электрооборудование, являющееся одним из основных источников зажигания.

Методы, описываемые в ст.50 ФЗ-123 [1], могут исключить появление в горючей среде источника зажигания. Однако они не предоставляют точных количественных данных, которые могли бы быть использованы при оценке пожарного риска. Действующая Методика оценки пожарного риска [2] для определения величины потенциального риска в зданиях или на территории производственного объекта использует понятие Q_j — частота реализации в течение года j -го сценария пожара, (год^{-1}). В настоящей работе, базируясь на фундаментальных основах теории горения, предлагается рассматривать частоту реализации пожара, как сочетание частот двух событий: возникновения горючей системы (горючее вещество + окислитель) и возникновения источника зажигания в системе.

Таким образом:

$$Q_j = Q_{ГС} \cdot Q_{ИЗ}, \quad (1)$$

где $Q_{ГС}$ — частота возникновения горючей среды, определяемая по Приложению 1 Методики [2]; $Q_{ИЗ}$ — частота возникновения источника зажигания в системе, которую можно определить по методике, изложенной в стандарте [3].

При отсутствии исходных данных допускается принимать $Q_{ИЗ} = 1$, и такой расчет будет полностью соответствовать действующей Методике [2]. Если же данных достаточно для определения $Q_{ИЗ}$, такой расчет будет более точным и позволит использовать дополнительные данные для разработки противопожарных мероприятий.

Литература

1. **Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ** «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404.
3. **ГОСТ 12.1.004-1991 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.**

Д.Д. Гуляев, студ.; рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ АЭС

Одной из причин внеплановой остановки энергоблоков атомных станций является дефицит охлаждающей воды. Данная проблема обусловлена изменениями климата, развитием аномальных засух и ростом числа опасных природных явлений [1]. Для поддержания необходимого качества охлаждающей воды вселяют растения, обладающие эффектом биоремедиации. Во Франции их использование уже приводило к уменьшению площади поверхности зеркала водоемов-охладителей и аварийным отключениям энергоблоков. В России это особенно актуально для Ростовской АЭС, Нововоронежской АЭС и Балаковской АЭС, где кроме классических видов биопомех могут появиться водный гиацинт, гигантская сальвиния, телорезовидная пистия [2]. В зарубежной литературе эти виды внесены в карантинный список, а у нас они нередко рассматриваются как виды, обеспечивающие быструю очистку вод [3]. Для наших водных объектов они являются инвазивными, не имеют естественных врагов и могут спровоцировать чрезвычайную ситуацию, обусловленную дефицитом охлаждающих вод на водоеме-охладителе АЭС.

Предупреждение чрезвычайных ситуаций на водоемах-охладителях АЭС, связанных с развитием инвайдеров включает следующий алгоритм действий:

1. Проанализировать морфометрические и термические характеристики водоема-охладителя;
2. Изучить возможные пути вселения инвазивной плавающей водной растительности в водоемы-охладители;
3. Создать модель проективного покрытия видом-инвайдером зеркала водоема-охладителя;
4. Оценить последствия снижения охлаждающей способности водоемов-охладителей;
5. Разработать инновационные способы борьбы с инвазивной плавающей водной растительностью.

Литература

1. **Клименко В.В., Терешин А.Г., Микушина О.В.** Влияние изменений атмосферы и климата на энергетический потенциал лесов России // Доклады академии наук. 2019. Т. 488. № 6.
2. **Безносков В.Н., Суздалева А.Л.** Инвазии теплолюбивой водной растительности как угроза чрезвычайной ситуации на объектах атомной энергетики // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Том 5. № 3.
3. **EPPO A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests.** Paris. France: EPPO.

М.А. Сидорова, студ.;
рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВИДЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Многолетняя мерзлота — это часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического протаивания. Общая площадь многолетней мерзлоты на Земле составляет 35 млн км², она распространена на значительной части территории РФ, в том числе на 95% площади Сибири. Потепление климата приводит к деградации многолетней мерзлоты, сопровождающейся возникновением природных, техногенных и биолого-социальных чрезвычайных ситуаций. Природные чрезвычайные ситуации, обусловленные изменением механических и физико-химических свойств оттаивающих многолетнемерзлых грунтов и горных пород, приводят к таким опасным явлениям как термокарст, термоэрозия, термоабразия, ледовая экзарация, кривовулканизм, ландшафтные пожары. Техногенные чрезвычайные ситуации сопровождаются крупномасштабным загрязнением окружающей среды [1] и могут быть связаны как с разрушением сооружений и коммуникаций из-за проседания оттаивающих многолетнемерзлых грунтов, так с вытаиванием льдогрунтовых хранилищ топлива, а также с высвобождением накопленных промышленных отходов. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации возникают при оттаивании скотомогильников (чаще захоронений оленей, погибших от сибирской язвы) и приводят к возникновению эпизоотий среди диких животных [2].

В работе применен системный подход к анализу экологических последствий чрезвычайных ситуаций, позволивший выявить ряд общих черт этих событий. Классифицированы значимые факторы ухудшения состояния окружающей среды при производственных авариях и инцидентах в зоне многолетней мерзлоты, рассмотрены гипотетические сценарии чрезвычайных ситуаций, обусловленных нарушением работы объектов энергетики и оценены их возможные экологические последствия. Разработаны предложения для повышения эффективности природоохранной деятельности, предусмотренной государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», на основании которых предложен алгоритм реализации адаптационных проектов, направленных на обеспечения экологической безопасности в условиях деградации многолетней мерзлоты.

Литература

1. Суздалева А.Л., Цховребов Э.С., Безносков В.Н. Проблемы экологической безопасности техногенных объектов в условиях деградации многолетней мерзлоты // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 2.
2. Суздалева А.Л. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации // Естественные и технические науки. 2022. № 8(171).

С.А. Ли, студ.; рук. А.Л. Суздаева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАК ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АВАРИЙ

Проблемы, вызванные увеличением или снижением водности рек, имеют глобальное значение. Они являются причинами многих гидродинамических аварий, которые вызывают крупномасштабные чрезвычайные ситуации. Возрастает риск перелива плотин, их разрушения, а также уменьшения количества вырабатываемой электроэнергии и нарушения работы систем водоснабжения населения. Ущерб от чрезвычайных ситуаций весьма большой. В работе проанализированы причины аварий на гидротехнических сооружениях. Выполнен анализ рисков методом «Галстук-бабочка». Разработаны сценарии гипотетических аварий, связанных с избыточной водностью и оценены тяжести последствий методом FMEA. Изучен международный опыт организации межбассейнового перераспределения речного стока как меры по предотвращению условий для возникновения аварий на гидротехнических сооружениях. Строительство на основе существующих объектов гидроэнергетики систем межбассейнового перераспределения водных ресурсов позволит решить проблемы, обусловленные увеличением водности рек. Цель создания таких систем — накопление избыточных водных ресурсов и последующая их поставка в регионы с водным дефицитом. Для этого необходима организация водохранилищ-депозитариев и путей межрегиональной транспортировки вод, в совокупности обозначаемых как трассы водноресурсной логистики [1]. Если осуществляемое на их основе перераспределение водных ресурсов носит трансграничный характер, то они могут рассматриваться как инфраструктура международного рынка водных ресурсов. В настоящее время Российская Федерация не участвует в создании этой важнейшей сферы межгосударственных взаимоотношений. В других странах строительство таких систем развивается уже несколько десятилетий. На современном этапе разработка и реализация подобных проектов позволит Российской Федерации укрепить геополитические позиции, став одним из основных участников международного рынка водных ресурсов [2, 3].

Литература

1. Суздаева А.Л. Водноресурсная логистика: международные аспекты // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т. 61 (11).
2. Быстрова А.К. Проблемы глобальной инфраструктуры в центральноазиатском регионе. Оптимизация роли России. М.: ИМЭМО РАН, 2013.
3. Ayferam G. Counter Hydro Hegemony Mechanisms and Their Roles in the Eastern Nile Basin // *International Affairs and Global Strategy*. 2019. V. 69.

О.И. Шлапак, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

РАЗВИТИЕ ИНДИКАТОРОВ РИСКА В ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ НАДЗОРЕ

Одним из главных направлений Концепции совершенствования контрольной (надзорной) деятельности до 2026 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 21 декабря 2023 г. №3745-р, является развитие индикаторов риска в качестве основного инструмента контроля [1]. Широкое использование индикаторов риска позволит снизить степень субъективности контрольно-надзорных органов в интерпретации поступающих сведений о возможных нарушениях и повысить эффективность проведения внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий.

На основании итогового доклада о результатах деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2023 год (далее — итоговый доклад) было выявлено, что в энергетическом надзоре за 2023 год по сравнению с 2022 годом наблюдался рост количества аварий и рост нарушений обязательных требований [2]. Одной из причин является то, что основная часть внеплановых мероприятий проводится на основании заявлений физических и юридических лиц, по информации органов государственной власти, местного самоуправления, средств массовой информации, о возникновении угрозы на объектах энергетики. Другими словами, внеплановая проверка проводится по ожиданию внешней информации, требующие проведения мероприятия, и работая с уже допущенным нарушением. Таким образом, предлагается повысить долю внеплановых проверок по индикаторам риска, с целью заблаговременного выявления нарушений обязательных требований, до того как будет причинен вред охраняемым законом ценностям.

На основании итогового доклада было выявлено, что индикаторы риска в энергетическом надзоре за 2023 год ни разу не сработали. Значит, утвержденные индикаторы риска в энергетическом надзоре не отражают риск или по ним трудно определить факт его срабатывания. Следовательно, необходимо разработать дополнительные индикаторы риска, а также провести пересмотр параметров соответствия или отклонения объектов контроля в действующих индикаторах риска.

Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.12.2023 №3745-р.
2. Итоговый доклад о результатах деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2023 год. [Электронный ресурс] URL: <https://www.gosnadzor.ru>.

А.М. Шомахов, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕФОРМЫ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАДЗОРА

В связи с осуществлением ряда реформ контрольно-надзорной деятельности имеется возможность сделать первые выводы о её практическом применении в области государственного энергетического надзора. В соответствии со статистикой за 2023 г. [1] выросло количество аварий при снижении количества плановых проверок и полном несрабатывании нововведенных индикаторов риска. Это свидетельствует о необходимости пересмотра подходов к оценке рисков и их интеграции в контрольно-надзорную деятельность.

В рамках новой системы явно имеются определенные перспективы для оптимизации осуществления контроля и обеспечения безопасности объектов энергетики. Одной из такой перспектив является возвращение практики аттестации рабочего персонала подконтрольных организаций в Ростехнадзоре. Это позволит выровнять потребность в фактически необходимом надзоре между объектами низкой и высокой категории риска. Предприятия, отнесенные к первой из упомянутых категорий подвержены меньшему контролю и зачастую не имеют должного уровня материальных и кадровых ресурсов для предотвращения и оперативной ликвидации аварийных ситуаций и их последствий.

Для исключения коррупционной составляющей стоит использовать принципы цифровизации в рамках данной практики с привлечением к процессу нескольких сторон, заинтересованных в его объективности.

Необходимо осуществить углубление концепта цифровизации в сфере государственного энергетического надзора: создание цифрового двойника, отображающего состояние оборудования и предприятия в целом. В долгосрочной перспективе внедрение подобной системы облегчит для организации эксплуатацию и её издержки посредством цифрового анализа текущих производственных процессов. Это позволит осуществление контроля в режиме реального времени для всех сторон, вовлеченных в процесс контрольно-надзорной деятельности.

Таким образом, в качестве одного из предложений по совершенствованию контрольно-надзорной деятельности, может быть возвращение практики аттестации рабочего персонала при её цифровизации и внедрение цифрового двойника, что существенно улучшит ход реформы.

Литература

1. Итоговый доклад о результатах деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2023 год.

А.Р. Васильев, студ.; С.А. Кострюков, студ.;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Реализация задач согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в части перехода к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышения эффективности способов транспортировки и хранения энергии должна сопровождаться решением сопутствующих задач обеспечения тепловой экономичности и экологической безопасности котельных установок тепловых электрических станций. В этой связи, в условиях современных тенденций в самое ближайшей перспективе серьезное внимание будет уделяться постепенному переходу и увеличению доли использования нетрадиционных видов топлива, ввиду значительного истощения горючих полезных ископаемых, и росту влияния энергетических предприятий на окружающую среду, особенно, в части усиления парникового эффекта. Таким образом, актуальной является задача разработки научно-технического задела в обеспечение создания методов реконструкции котельных установок тепловых электрических станций для сжигания твердых бытовых отходов (мусора) с целью производства тепловой и электрической энергии [1].

В работе предложены схемные решения и конструкции теплоутилизаторов для повышения эффективности работы котельных установок при совместном сжигании твердых бытовых отходов и природного газа. Авторами разработаны конструкции поверхностей нагрева котлов для повышения интенсивности теплоотдачи от высокотемпературных продуктов сгорания к стенке экранных поверхностей. Полученные результаты исследования будут энергомашиностроительными предприятиями при создании методов реконструкции котельных установок тепловых электрических станций для сжигания твердых бытовых отходов (мусора) с целью производства тепловой и электрической энергии.

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 05.11.2024).

А.Р. Васильев, студ., С.А. Кострюков, студ.;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Развитие энергетической отрасли Российской Федерации связано с реализацией концепции и государственных программ перехода на современные эффективные технологические и экономические механизмы управления энергосистемой страны. При этом обеспечение возможности увеличения доли использования твердых бытовых отходов в народном хозяйстве для производства энергии может быть решено как за счет строительства новых тепловых электростанций, так и на основе реконструкции действующих объектов генерации. Основным недостатком таких тепловых станций большой мощности связан с зависимостью экономических и энергетических характеристик установок от режима энергопотребления и стоимости топлива (в том числе условий доставки, топливоподготовки, хранения) в зависимости от регионального расположения объекта генерации. Согласно этому для обоснования возможности сжигания твердых бытовых отходов на тепловых электрических станциях, их использования и широкого внедрения разрабатываемых технологий в теплоэнергетике авторами выполнена расчетная оценка влияния ключевых факторов на энергетические и финансовые затраты при транспортировке, топливоподготовке и хранении твердых бытовых отходов (мусора) для объектов генерации, разработан алгоритм для определения оптимальной цепочки поставки твердых бытовых отходов (мусора) для различных источников поставки с целью минимизации транспортировочных затрат, разработана структурная модель минимизации затрат для различных сценарных условий доставки твердых бытовых отходов для снижения себестоимости топливоподготовки на энергетическом предприятии [1].

Полученные авторами результаты могут быть использованы для разработки практических рекомендаций по выбору цепочек поставки твердых бытовых отходов (мусора) на энергетические предприятия с учетом различных сценариев.

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 15.11.2024).

А.А. Лейтейзин, студ.; рук. А.И.Быков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛУШИТЕЛЯ

Акустическое загрязнение среды является острой проблемой, особенно в больших городах с развитой транспортной инфраструктурой. Как известно, шум влияет на людей негативно, особенно тех, кто проживает рядом с высокоскоростной магистралью, а именно возникают проблемы с ЦНС, появление панических атак, снижение мыслительных способностей, и в некоторых случаях приводит к полной потере слуха. Однако даже шум стоящего автомобиля с прогревающимся двигателем в спальном районе может привести к неблагоприятным последствиям, таким как нарушение сна, проявление агрессии и раздражительности. В связи с этим, поиск эффективного метода снижения дорожного шума остается важной проблемой. Для её решения будет разработан и собран стенд, который позволит определить эффективность различных элементов глушителя и сравнить их между собой, чтобы выбрать лучший.

В стенде будут использованы следующие элементы глушения шума: резонатор Хершеля-Квинке, четверть-волновой резонатор, резонатор Гельмгольца и камера расширения. Основную конструкцию будет представлять импедансная труба из оцинкованного железа диаметром 48 мм с верхней рабочей частотой 4 кГц. Соединения будут выполнены из пластика, предварительно напечатанные на 3D-принтере. Так же в стенде будут задействованы: персональный компьютер с необходимым программным обеспечением, динамик, усилитель звука и соответственно его источник.

Для измерения снижения звука (шумоподавления) при прохождении через испытательные элементы будет использоваться метод «одного микрофона».

При успешной сборке и наладке, к готовому стенду будет разработано методическое пособие по работе с ним.

Литература

1. **Martin Wolkesson.** Evaluation of impedance tube methods — a two microphone method for road surfaces and three microphone transfer function method for porous materials / Martin Wolkesson // Masters Thesis in Masters programme in Sound and Vibration. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Goteborg, Sweden 2013.
2. **R Duris, E Labasova.** The design of an impedance tube and testing of sound absorption coefficient of selected materials / R Duris, E Labasova // Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology. Slovak Republic, 2021.

Р.И. Анпилогов, студ.;
рук. А.М. Боровкова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПОДНАДЗОРНЫХ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ НАДЗОРУ

Изучение причин аварий, произошедших на объектах под контролем государственного энергетического надзора, является одной из важных областей в обеспечении безопасности и надежности энергетической инфраструктуры. Основная функция государственного энергетического надзора также состоит в проведении детальных исследований причин таких аварий и разработке эффективных стратегий их предотвращения.

Основными техническими причинами аварий на объектах поднадзорных государственному энергетическому надзору являются [1]:

- 1) Нарушение в работе противоаварийной или режимной автоматики;
- 2) Нарушение электрического контакта, повреждение изоляции;
- 3) Выход из строя электроэнергетического оборудования.

Основными организационными причинами аварий на объектах поднадзорных государственному энергетическому надзору являются [1]:

- 1) Несвоевременное выявление и устранения дефектов электроэнергетического оборудования;
- 2) Воздействие более сложных неблагоприятных погодных условий, отличных от проектных;
- 3) Монтаж и эксплуатация электрического оборудования не в соответствии с руководством по эксплуатации.

Нарушение в работе по техническим причинам может вызывать большое количество факторов, основными являются: ошибки в процессе пуско-наладочных работ (ПНР), некачественный монтаж, использования некачественных материалов в процессе подключение шкафов управления, электромагнитная обстановка на объекте.

Для предотвращения аварий важно соблюдать нормативные требования к монтажу и эксплуатации оборудования, своевременно выявлять и устранять дефекты, а также повышать квалификацию персонала, ответственного за его эксплуатацию и обслуживание, регулярно проверять состояние противоаварийной и режимной автоматики. Также необходимо учитывать влияние внешних факторов, например, сложных погодных условий, и принимать меры по защите объектов от их воздействия.

Литература

1. **Ростехнадзор.** Уроки, извлеченные из аварий // URL: <https://www.gosnadzor.ru/> (дата обращения: 09.11.2024).

Г.Н. Соколов, студ.;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Доклад основывается на анализе основных природных чрезвычайных ситуациях (далее ЧС), характерных для Иркутской области. Рассматриваются причины, периодичность и последствия ЧС. Основанием для этого анализа, является рассмотрение крупных происшествий за последние года. Определяются методы для прогнозирования ЧС и их предотвращения, а составление возможной стратегии по ликвидации их последствий. Важно уделить отдельное внимание законодательной базе региона в области ЧС, работе властей и спасательных служб в регионе по информированию и спасению населения. Данный анализ позволит создать эффективную стратегию для снижения потенциальных рисков и повысить уровень безопасности в регионе.

Рассматриваемая в моей работе Иркутская область отличается от других субъектов Российской Федерации наличием необычного сочетания сложного рельефа, климатических особенностей и природных условий. Все вышеперечисленное, в сочетании с географическим расположением области, повышает возможность происшествия чрезвычайных ситуаций природного характера. На основании открытых отчетов МЧС по Иркутской области можно заметить, что на территории области часто происходят землетрясения, сели и наводнения, а также лесные пожары. Основную угрозу несут лесные пожары в летнее время и паводки в весеннее, они наносят сильный урон экономике и природе, и зачастую несут за собой гибель людей. Кроме того, сейсмическая активность и частые землетрясения в регионе требуют постоянного контроля и готовности служб экстренных служб. Для управления рисками ЧС в Иркутской области необходим комплексный подход: мониторинг опасных зон с использованием современных технологий, усиление взаимодействия между структурами и развитие системы информирования населения. Внедрение спутникового слежения и мобильных приложений позволит своевременно выявлять угрозы и снижать их последствия. Скоординированные усилия властей, спасательных служб и граждан обеспечат повышение безопасности региона и минимизацию ущерба от природных катастроф.

Литература

1. **Мельник А.А.** Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции. г. Железногорск, 2016.
2. **Кузнецов А.В.** Анализ природных катастроф в Иркутской области: причины и последствия, 2019.

А.И. Бедняков, студ.; рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ОТ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Кавказские Минеральные Воды (КМВ) — это уникальный регион в России с развитым курортным бизнесом и значительным природным наследием. КМВ также является особо охраняемым эколого-курортным регионом Российской Федерации [1]. Однако, он подвергается радиационному загрязнению, что представляет серьезную опасность для здоровья населения и экосистемы.

Наиболее распространенным природным источником радиации являются многочисленные минеральные источники. Основным источником радиационного загрязнения являются последствия деятельности уранодобывающего предприятия, находившегося на горе Бештау с 1949 по 1975 годы.

В связи с этим, в КМВ обострилась ситуация с онкологией. Смертность от злокачественных опухолей в 1,5–2 раза выше, чем в соседних регионах, таких как Ставрополь, Ростовская область, республики Северного Кавказа [2]. За несколько десятилетий радионуклиды распространились по обширной территории с помощью грунтовых и поверхностных вод, животных, а также частых пожаров, которые поднимают в воздух загрязнения с поверхности почвы. Местное население активно потребляет продукты питания, выращенные в данном регионе и попавшие в магазины и на рынки крупных городов и станиц.

Результатом исследования являются мероприятия по снижению уровня радиации, возможные для проведения в КМВ. Для защиты населения необходимо провести мероприятия по рекультивации территорий, такие как фиторемедиация, очистка питьевой воды, и другие. Необходимо создание новых программ и систем мониторинга радиационных угроз. Важен комплексный подход к проблеме, включая сотрудничество государства и местных органов управления.

Литература

1. **Федеральный закон 23.02.1995 № 26-ФЗ** «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах»: // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1995. — гл 1, ст 3.
2. Онкология. Статистика проблемы // tochno.st: — URL: https://tochno.st/problems/oncology/regions/stavropolskiy_kray (дата обращения: 11.11.2024).

Е.Н. Лукина, студ.;
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РОССИЙСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА К СИЗ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Анализ статистики производственного травматизма показывает, что причиной 10% травм является электрическая дуга. Основными поражающими факторами при этом являются: тепловое излучение дуги, высокая температура в дугоразрядном канале, громкий звук, сопровождающий вспышку дуги, спектр электрической дуги, имеющий три диапазона волн (видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение).

В исследовании проведена оценка нормативно-правовой базы в области средств индивидуальной защиты (СИЗ), которая показала, что в российском законодательстве технические требования к СИЗ для защиты от термических рисков электрической дуги, электрических разрядов и светового излучения закреплены в следующих нормативных документах:

ТР ТС 019/2011 и ГОСТ Р 12.4.234-2012 регламентируют критерии, которым должны соответствовать ткани для изготовления костюмов, защищающих работников от воздействия высоких температур, твердых частиц, брызг жидкостей и расплавленного металла, искр, электрического тока [1, 2].

ГОСТ 12.4.253-2013 устанавливает общие требования к средствам индивидуальной защиты глаз, включая устойчивость к коррозии, воспалению, воздействию высокоскоростных частиц и оптическому излучению [3].

ГОСТ 12.4.023-84 регламентирует требования к материалам для изготовления защитных щитков [4].

Таким образом, на сегодняшний день в РФ законодательно закреплены требования к ряду параметров СИЗ для защиты от термических рисков электрической дуги, что обеспечивает безопасность работников и минимизирует риски, связанные с выполнением работ в условиях высоких температур и электрических разрядов.

Литература

1. **Технический регламент** Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».
2. **ГОСТ Р 12.4.234-2012 ССБТ**. Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. Общие технические требования и методы испытаний.
3. **ГОСТ 12.4.253-2013** Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты глаз. Общие технические требования.
4. **ГОСТ 12.4.023-84 ССБТ**. Щитки защитные лицевые Общие технические требования и методы контроля.

В.Н. Купцов, студ.;
рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЙ «СТОКГОЛЬМСКОЙ КОНВЕНЦИИ О СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯХ»

Одной из важных проблем современности для сотрудников контрольно-надзорных органов является большая загруженность. Для снижения нагрузки работников и координации деятельности предлагается разработать форму для сбора информации от различных надзорных служб.

Для примера рассмотрим “Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях” созданную с целью ограничения загрязнения окружающей среды стойкими органическими загрязнителями (СОЗ).

Данная конвенция была ратифицирована РФ в 2011 г. Федеральным законом от 27.06.2011 № 164-ФЗ. Постановлением Правительства РФ от 30.07.2014 № 720 [2] установлено, что выполнение Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией, осуществляют в пределах своих полномочий Росприроднадзор, Роспотребнадзор, Ростехнадзор.

Причем каждое ведомство выпускает свои документы, посвященные реализации деятельности, связанной с реализацией Конвенции. Основные мероприятия, связанные с утилизацией и обезвреживанием остатков СОЗ, должны быть реализованы до 2028 года. Также необходимо учесть, что некоторые вещества, например, полихлорированные нафталины, нашей страной используются исключительно в научных целях и в качестве промежуточного продукта для получения материалов с уникальными свойствами и биологически активных соединений [3].

Поэтому разработка электронного приложения, в котором будет собираться вся информация от различных ведомств, упростит надзор за реализацией всех мероприятий и снизит нагрузку работников контрольно-надзорных органов.

Литература

1. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (от 10.05.2019).
2. Постановление Правительства РФ от 30 июля 2014 г. N 720 «О мерах по обеспечению выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях от 22 мая 2001 г.».
3. Поправки к Стокгольмской конвенции // URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/prinyaty_popravki_k_stokgolmskoy_konventsii/ (от 13.08.2020).

С.В. Айневтегин, студ.;
рук. А.С. Ванин, к.т.н., ст. преп. (НИУ МЭИ)

АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДХОДОВ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Цель исследования заключается в проведении сравнительного анализа российских и зарубежных подходов к техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) электрооборудования (ЭО), выявлении их достоинств, недостатков и областей применения, а также в определении перспективных направлений совершенствования процессов ТОиР для повышения надежности и эффективности эксплуатации электроэнергетических систем.

В ходе анализа были рассмотрены пять подходов к ТОиР. Аварийный подход предполагает максимальное использование ресурса оборудования, но сопровождается высокими затратами на восстановление и применим лишь для критически важных объектов. Планово-предупредительное обслуживание исключает критический износ и снижает вероятность аварий, однако требует проведения работ до достижения критического состояния оборудования, что может быть неэффективным. Подход по техническому состоянию минимизирует число отказов и затраты, но требует сложного диагностического оборудования и значительных трудозатрат. Прогнозирование позволяет в реальном времени диагностировать состояние оборудования и предупреждать отказы, однако требует создания цифровых моделей и значительных затрат на сбор данных. Риск-ориентированный подход фокусирует ресурсы на предотвращении наиболее вероятных рисков, но требует больших объемов данных и автоматизации процессов, особенно актуален для сильно изношенного оборудования.

В результате проведенного анализа авторами сделаны следующие выводы: современные подходы к ТОиР направлены на повышение надежности электрооборудования и оптимизацию затрат, однако их применение требует учета специфики объектов и доступных ресурсов. Наиболее перспективными направлениями являются интеграция методов прогнозирования и риск-ориентированного подхода с применением цифровых технологий, что позволяет значительно повысить эффективность эксплуатации электроэнергетического оборудования.

Литература

1. **Назарычев А.Н., Крупнёв Д.С.** Надёжность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения: учебное пособие // Новосибирск: Наука, 2020. — 224 с.

И.А. Белошицкая, студ.; рук. Ю.Н. Бурвикова, к.х.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ НА НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКАХ ВЫБРОСОВ

Вопросы экологического контроля являются важной составляющей природоохранного законодательства. Для наиболее полного охвата выбросов и сбросов промышленных предприятий статьёй 67 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», введено требование для предприятий, относящихся к объектам негативного воздействия (ОНВ) I категории, об оснащении источников эмиссий загрязняющих веществ системами автоматического контроля (САК).

Принципы автоматического контроля выбросов от организованных источников изложены во многих нормативных документах, включая многочисленные документы по стандартизации. При этом до сих пор остаётся открытым вопрос контроля выбросов от неорганизованных источников загрязнения (НИЗ). Проблема усугубляется тем, что такие масштабные загрязнители атмосферного воздуха, как полигоны твёрдых коммунальных отходов (ТКО) могут относиться к ОНВ I категории, но выполнить статью закона на сегодняшний день они не могут в связи с отсутствием САК для НИЗ [1].

Известно применение автоматических систем для мониторинга качества атмосферного воздуха [2], при этом, как и промышленные САК, они имеют полное метрологическое обеспечение. Однако в открытых литературных данных отсутствует информация о системах автоматического контроля выбросов от неорганизованных источников.

Учитывая общую тенденцию к автоматизации процессов, а также уровень негативного воздействия НИЗ на окружающую среду, актуальна задача разработки принципов применения САК для неорганизованных источников выбросов, и введение их в правовое поле.

Литература

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 17-2021 «Размещение отходов производства и потребления» URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1669&etkstructure_id=1872 (дата обращения 14.11.2024).
2. **Панарин В.М., Маслова А.А., Савинкова С.А.** Автоматизированный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий. Монография. — Тула, Изд-во ТулГУ, 2021. — 219 с.

Ю.Ю. Канашова, студ.;
рук. А.А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПРОГРАММЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

В рамках исследования разрабатывается программа для системы автоматического контроля (САК) сбросов загрязняющих веществ (ЗВ) горно-обогатительном комбината (ГОК). Проведенный анализ нормативно-правовой базы Российской Федерации, регулирующей создание и функционирование САК позволил определить необходимые этапы разработки [1]:

- 1) Идентификацию источников сбросов: выявление всех стационарных источников сбросов на ГОК, требующих автоматического контроля.
- 2) Выбор мест установки оборудования: определение оптимальных мест размещения измерительного оборудования и системы сбора и передачи данных с учетом технологических особенностей ГОК и требований к точности измерений.
- 3) Определение состава и формата данных: составление перечня параметров, подлежащих измерению для каждого источника сброса, а также формат представления и передачи этих данных.

Для определения источников сбросов и их состава был использован технологический процесс в соответствии с ИТС 16-2023 [2] и ИТС 49-2024, включающий примерные данные о составе, концентрации ЗВ (маркерных) в сбросах. На основании этого анализа были выделены конкретные стационарные источники сбросов и места установки оборудования.

Таким образом определение ключевых этапов разработки программы САК сбросов ЗВ на ГОК и применение ИТС 16-2023 и ИТС 49-2024 позволило идентифицировать конкретные стационарные источники сбросов и определить оптимальные места для размещения оборудования системы мониторинга. Дальнейшие исследования будут направлены на детализацию технических решений, выбор конкретного оборудования и разработку алгоритмов обработки данных.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 13.03.2019 № 262** «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ».
2. **ИТС 16-2023** «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы».
3. **ИТС 49-2024** «Добыча драгоценных металлов».

Д.О. Мороз, студ.;
рук. М.А. Забелин, ассист. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОБЗОР УЯЗВИМОСТЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

В последние десятилетия устойчивое развитие энергетического сектора приобретает особую актуальность из-за нарастающего воздействия климатических изменений. По данным исследований, техническое состояние многих энергетических объектов характеризуется значительным износом оборудования, что делает их уязвимыми к экстремальным погодным условиям, таким как ураганы, наводнения и засухи. Особенно это касается электросетевого и генерирующего оборудования, эксплуатация которого зачастую ведется без учета растущих нагрузок и усложняющихся условий. В связи с этим необходима комплексная оценка и последующая модернизация инфраструктуры для повышения ее устойчивости к изменяющимся климатическим условиям [1].

В рамках исследования проведен обзор уязвимостей энергетических объектов к воздействию климатических факторов, выявлены проблемы уязвимости энергетических объектов. Например, перегрев оборудования при повышении температуры, повреждение инфраструктуры при наводнении, пожаре. Особую опасность представляют экстремальные погодные явления в северных регионах России, где наблюдается интенсивное образование наледи на линиях электропередач при резких перепадах температур, что приводит к обрывам проводов и деформации опор. Существенную угрозу создают сильные ветровые нагрузки, превышающие расчетные значения на 15–20%, вызывающие механические повреждения элементов электросетевого комплекса. Отдельного внимания заслуживает проблема деградации вечной мерзлоты, приводящая к просадке фундаментов опор ЛЭП и нарушению устойчивости энергетических объектов. Исследования показывают, что комплексное воздействие неблагоприятных климатических факторов в северных регионах приводит к ускоренному износу изоляционных материалов и конструктивных элементов, сокращая их эксплуатационный ресурс на 25–30% по сравнению с проектными показателями [2].

Литература

1. **О.А. Loktionov, М.А. Zabelin, N.S. Kuznetsov and D.O. Maximov**, “Estimation of Accident Rates in Russian Power Grid System Under Climate Factors,” 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1–5.
2. **Забелин М.А., Клименко В.В., Локтионов О.А.** Оценка работоспособности и причин аварийности объектов электросетевого комплекса севера европейской части России // Известия Российской академии наук. Энергетика. — 2024. — № 3. — С. 3–21.

П.И. Очилова, студ.;
рук. О.А. Локтионов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УЧЕТА SCORE 3 ПРИ РАСЧЕТЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Охват 3 (Score 3) углеродного следа является важной частью общей оценки воздействия компании на окружающую среду, так как охватывает все косвенные выбросы в цепочке создания стоимости компании, за исключением косвенных выбросов от генерации купленной или приобретенной энергии, потребляемой отчитывающейся компанией, которые учитываются в Охвате 2 (Score 2).

В отличие от Охвата 1 (Score 1), включающего прямые выбросы от деятельности компании, и Охвата 2 (Score 2), включающего выбросы от потребления энергии, Охват 3 (Score 3) включает такие важные категории, такие как: приобретенные товары и услуги; средства производства; деятельность, связанная с топливом и энергетикой и не учитываемая в Охвате 1 и Охвате 2; транспортировка и распределение продукции; отходы, образующиеся в процессе эксплуатации; деловые поездки; поездки на работу; арендованные средства для поставок; дистрибуция товаров и услуг; использование произведенной продукции в последующем производстве; использование проданных товаров; переработка проданных товаров; арендованные средства для дистрибуции; франшиза; инвестиции [1].

Исходя из вышесказанного, углеродный след компании может казаться небольшим, если учитывать только Охват 1 и Охват 2, но при учете Охвата 3 реальное воздействие становится гораздо больше (рис. 1) [2].

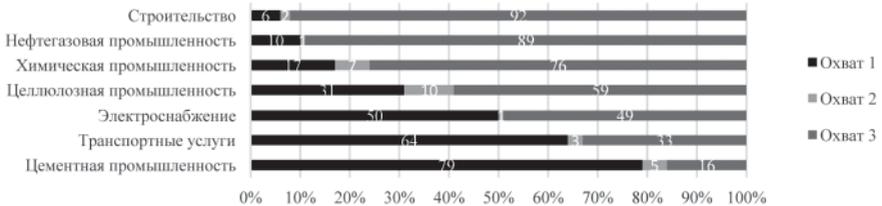


Рис. 1. Средние показатели выбросов по отраслям

Таким образом, снижение Охвата 3 является важным шагом на пути к снижению общего углеродного следа и достижению углеродной нейтральности.

Литература

1. **Technical Guidance** for Calculating Scope 3 Emissions. Supplement to the Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting & Reporting Standard.
2. **CDP Technical Note:** Relevance of Scope 3 Categories by Sector.

Н.В. Додонова, студ.; рук. Л.А. Корнеева, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДГОТОВКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Исследовано формирование экологического сознания обучающихся при подготовке природопользователей нового поколения. Базовая идея, положенная в основу формирования системы взглядов в процессе обучения — концепция экологического образования.

Проблема улучшения качества окружающей среды внесена в список глобальных проблем современности: антропогенная и эгоцентрическая деятельность человека привели к её деградации.

Состояние окружающей среды во многом зависит от уровня эколого-природоохранной подготовки технических специалистов и затрагивает все стороны человеческой деятельности [1].

Знания в области химии окружающей среды позволяют будущим профессионалам — природопользователям нового поколения решать задачи инновационного развития экономики и обеспечения техногенной безопасности.

Природопользователи нового поколения должны обладать знаниями фундаментальных законов эволюции Вселенной и свойств естественного состояния биосферы, включающих ее способность к саморегуляции. Знать химические аспекты антропогенного загрязнения атмосферы, условия ее устойчивости, закономерности трансформации загрязняющих веществ в гидросфере, механизм самоочищения и формирования полноценной природной водной среды; особенности техносферы, экологических кризисов и катастроф, меры экологического контроля. Он должен обладать умением обосновать причины возникновения фотохимического смога, кислотных дождей, парникового эффекта, озоновых дыр; уметь анализировать критические ситуации во взаимоотношениях с природой и разрабатывать мероприятия, предотвращающие загрязнение воздуха, рассчитывать показатели качества вод и осуществлять выбор методов очистки производственных стоков автономных энергетических систем и их элементов.

Человечество существует постольку и до тех пор, пока его генетические возможности соответствуют параметрам окружающей среды.

Природопользователь нового поколения, владеющий экологическими знаниями и умениями, способен обеспечить техногенную безопасность, применить рациональную стратегию взаимодействия с природой в целях создания комфортной и безопасной среды для жизни людей.

Литература

1. **Корнеева Л.А., Мясникова Н.В., Грошева С.Н., Стасенко Н.В.** Формирование экологического сознания // ЕСУ. 2021. № 1 (82). С. 67–72.

Р.М. Нагиев, студ., Д.О. Максимов, студ.;
рук. А.С. Козодаев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Проблема переработки и утилизации золошлаковых отходов (ЗШО), образующихся на тепловых электростанциях (ТЭС), вызывает все большее беспокойство среди экспертов в энергетической отрасли России. Объемы этих отходов, накопленных на полигонах, ежегодно увеличиваются, и на сегодняшний день их общий объем оценивается в диапазоне от 1,3 до 1,8 млрд тонн. В связи с этим этот вопрос становится все более актуальным и требует внимания для дальнейшего обращения с этим отходом. По данным Минэнерго России и Росприроднадзора, ежегодное увеличение количества ЗШО составляет от 18 до 26 млн тонн. В связи с этим требуется поиск действенных решений для их переработки и эффективного использования, которые можно применить в реальных условиях с учетом экономической и экологической эффективности.

Согласно федеральному классификационному каталогу отходов, ЗШО относятся к пятому классу опасности, что означает их минимальное воздействие на экологическую среду. Прогнозы показывают, что к 2030–2035 годам 43 из 172 российских ТЭС столкнутся с нехваткой мест для размещения ЗШО. По расчетам, к 2035 году порядка 25% угольных полигонов окажутся переполненными. Эти факты подчеркивают необходимость разработки инновационных подходов к переработке и утилизации ЗШО.

Мировая и отечественная практика демонстрируют успешное использование золошлаковых отходов в различных сферах. Среди них можно выделить строительство, охрану окружающей среды, сельское хозяйство и другие отрасли промышленности.

Одним из перспективных решений является использование ЗШО в строительной отрасли, в частности, при производстве бетонных смесей. Этот метод позволяет сократить расход цемента и одновременно снизить выбросы углекислого газа (CO₂). Замена до 25% цемента золошлаковыми материалами способствует уменьшению экологического воздействия, так как производство цемента остается одним из ведущих источников выбросов CO₂ в атмосферу. Дополнительно этот подход снижает себестоимость бетона, делая строительство более доступным и рентабельным.

Литература

1. Сниккарс П.Н., Золотова И.Ю., Осокин Н.А. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача // Энергетическая политика. — 2020. — № 7 (149). — С. 34–45.

А.Д. Зименков, студ.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

Климатические риски становятся все более значимой проблематикой в условиях увеличения опасных погодных явлений, в связи с чем компаниям необходимо осуществлять оценку и адаптации к ним [1]. В настоящее время на международном уровне представлено несколько ключевых методологических стандартов, регламентирующих процедуру формирования отчетности по оценке климатических рисков (таблица).

Таблица 1. Сравнительный анализ стандартов климатической отчетности

Название стандарта	Оцениваемые показатели	Особенности
TCFD	<ul style="list-style-type: none"> • Управление рисками • Стратегия по климатическим рискам • Оценка и управление рисками, цели по снижению воздействия на климат и результаты исполнения этих целей 	Сценарный анализ для оценки влияния климатических факторов
GRI	<ul style="list-style-type: none"> • Экологических воздействий • Социальных показателей • Управления и этики • Экономического влияния 	Модульная система
CDP	<ul style="list-style-type: none"> • Уровень выбросов парниковых газов • Цели по снижению выбросов • Подход к управлению рисками на основе климата • Устойчивость водных ресурсов 	Стандартизированные анкеты для сбора данных
SASB	<ul style="list-style-type: none"> • Устойчивость и изменение климата • Цепочка поставок и постоянные риски • Социальные и трудовые практики • Корпоративное управление 	Уникальные стандарты для 77 отраслей

На основе сравнительного анализа можно сделать вывод, что наилучшим стандартом является TCFD, так как он раскрывает информацию в контексте финансовых показателей и устойчивости компании в условиях изменения климата. Это отличает его от CDP, который рассматривает преимущественно экологический и социальный аспект. Еще одним преимуществом TCFD является связанность в первую очередь с климатическими рисками, в отличие от SASB и GRI.

Литература

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — СПб.: Научное издание, 2022. — 124 с.

*Р.В. Александров, студ. ;
рук. А.А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНЫХ ДОМОХОЗЯЙСТВ

В рамках данной работы разрабатывается типовое техническое решение проблем питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения частных домохозяйств. На текущем этапе исследования проведен литературный обзор.

Разработка технического решения будет состоять из следующих этапов [1]:

- 1) Проведение анализа существующих систем водоснабжения района, включая оценку состояния водопроводных сетей, источников водоснабжения и качества подаваемой воды.
- 2) Изучение действующих нормативных документов, регламентирующих качество питьевой воды, включая ГОСТы, СНИПы и другие стандарты. Анализ соответствия текущей ситуации в районе этим нормам, выявление возможных отклонений и проблемных зон.
- 3) Исследование химического и микробиологического состава воды, поступающей в частные домохозяйства, с целью определения ее пригодности для питья и бытовых нужд. Особое внимание будет уделено специфическим особенностям региона, таким как наличие природных примесей и антропогенное воздействие.
- 4) Разработка и предложение различных вариантов технологической схемы водоподготовки, адаптированных под нужды частных домохозяйств данного района, учитывая местные особенности, такие как доступность тех или иных методов очистки, стоимость реализации и эксплуатационные расходы.
- 5) Проведение оценки экономической эффективности предложенных технологических схем, включая расчет капитальных затрат на установку оборудования, операционных расходов на эксплуатацию и обслуживание, а также ожидаемого эффекта от улучшения качества воды.

Разработанное техническое решение для водоснабжения частных домохозяйств, основанное на анализе современных технологий и местных условий, обеспечит эффективное управление водоснабжением, повышая качество предоставляемых услуг.

Литература

1. Водоснабжение и водоотведение: учеб, пособие / Н.Ю. Акименко, Г.Г. Медведева; [науч. ред. М.Н. Шевцов]. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. — 112 с.

Т.С. Булгакова, студ. (НИУ «МЭИ»)
рук. Е.А. Кузнецова, к.с.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Обучение по охране труда [1] имеет существенную значимость для предотвращения несчастных случаев, травм и заболеваний, связанных с выполнением работ. Однако, в соответствии со статистическими данными Росстата уровень производственного травматизма в последние годы практически не снижается (рис. 1), что обуславливает необходимость совершенствования системы обучения по охране труда.

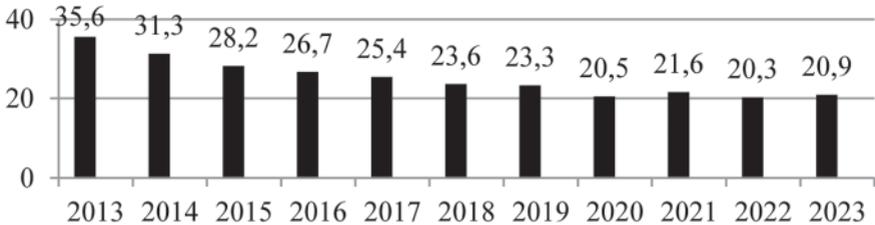


Рис. 1. Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве 2013–2023 гг., тыс. человек

С учетом мирового опыта и современных технологических возможностей, обучение по охране труда может быть адаптировано под нужды современного производства. Путем комбинирования традиционных методов обучения с современными технологиями, такими как учебные полигоны, виртуальная реальность, игровые методики и онлайн-платформы, можно значительно повысить вовлеченность сотрудников в процесс обучения и обеспечить усвоение знаний и навыков по охране труда [2]. Сочетание методов позволяет создать обучающую программу, охватывающую как теоретические аспекты безопасности труда, так и опыт выполнения работ в безопасном режиме. Реалистичное моделирование рабочих ситуаций позволяет работникам отрабатывать практические навыки, получать обратную связь и уверенность в своих действиях, что в конечном итоге приводит к уменьшению профессиональных рисков, аварий и несчастных случаев на производстве.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2021 г. № 2464** «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда» (ред. от 30.12.2022).
2. **Beś Paweł, Strzałkowski Paweł** Analysis of the Effectiveness of Safety Training Methods // Sustainability — 2024. — № 16. P. 1–21.

С.А. Старчик, студ. ;
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ТРАВМАТИЗМА В РОССИИ ЗА 2010–2023 ГОДЫ

Производственный травматизм остается одной из ключевых проблем обеспечения безопасности труда в России. Анализ ретроспективных данных позволяет выявить основные тенденции, проблемные области и перспективы их решения. За период с 2010 по 2023 гг. отмечается положительная динамика в снижении уровня травматизма. Число предприятий без зарегистрированных несчастных случаев увеличилось с 105 550 в 2010 году до 153 202 в 2023 году.

Проведенное исследование позволило выявить тенденцию снижения уровня травматизма, при которой доля предприятий, не имеющих зарегистрированных случаев травматизма, увеличилась с 84% в 2010 году до 94% в 2023 году. Также наблюдается рост расходов на финансирования мероприятий по охране труда, сопровождающееся снижением числа пострадавших. Данная зависимость может рассматриваться, как подтверждение целесообразности системного подхода к профилактике производственного травматизма.

Наиболее травмоопасными сферами остаются обрабатывающие производства, транспортировка и хранение, а также строительство. В этих отраслях зафиксированы как наибольшее количество пострадавших, так и значительная доля смертельных случаев.

Анализ статистических данных показывает, что за последние 13 лет достигнуты значительные успехи в снижении уровня травматизма. Однако остаются отрасли, требующие повышенного внимания, такие как обрабатывающие производства и транспорт. Для дальнейшего улучшения ситуации необходимы повышение уровня компетенций работников в области охраны труда и усиление контроля за соблюдением законодательства.

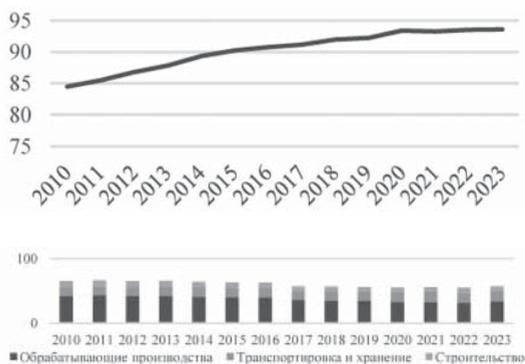


Рис. 1. Процентное соотношение производств с отсутствием травматизма за 2010–2023 гг. и доля наиболее травмоопасных отраслей экономики, выраженная в процентах

Литература

1. Росстат ф. № 7-травматизм «Сведения о травматизме на производстве и профессиональных заболеваниях», 2010–2023.

В.О. Милованова, студ.;
рук. И.В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

В последнее время наблюдается снижение срока службы металлических подземных конструкций. Основной причиной быстрого износа и разрушения трубопроводов и других металлических объектов, приводящей к критическим повреждениям городских коммуникаций, является электрохимическая коррозия металла, которую вызывают блуждающие токи.

Явление блуждающих токов связано с движением заряженных частиц в определенном направлении, появляющихся в почве, являющейся в данной ситуации токопроводящей средой. Источниками блуждающих токов выступает электрифицированный транспорт постоянного и переменного тока, трансформаторные подстанции, линии ЛЭП с глухозаземленной нейтралью и железные дороги постоянного тока [1].

Методы определения наличия блуждающих токов состоят в определении разности потенциалов между двумя точками земли по двум взаимно перпендикулярным направлениям с помощью мультиметров высокого класса точности. Измерение электрического потенциала в точках на поверхности земли вокруг металлических конструкций является простым и доступным методом. Исследование коррозионных повреждений на элементах конструкции может быть индикатором присутствия блуждающих токов. Измерение сопротивления изоляции и проведение тестов на пробой помогает определять наличие блуждающих токов и возможные причины их возникновения [2].

Анализ методов обнаружения может помочь оперативно обнаружить и устранить блуждающие токи, предотвратив возможные повреждения оборудования и повысив безопасность электрических систем.

В качестве мер защиты от блуждающих токов предлагается использовать катодные защиты, изолирующие муфты, прямые и поляризованные дренажи, а также снижение продольного омического сопротивления рельсового пути за счет повышения переходного сопротивления для тока от рельс к земле путем изоляции рельс от земли.

Литература

1. **Афанасьев И.П.** Блуждающие токи и методы борьбы с ними в системах электропитания железнодорожных дорог // Молодой ученый. 2022. № 5 (400). С. 20–23.
2. **З.С. Гасанов, А.И. Коровкина, Н.М. Попова, А.И. Калинина.** Защита сооружений от коррозии блуждающими токами // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. № 3 (32). С. 24–29.

Д.В. Гридунов, студ.; рук. Д.С. Курочкин, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТРОЛЛИНГА В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА

Контроллинг, как система управления, представляет собой совокупность методов и инструментов, направленных на планирование, контроль и анализ деятельности предприятия с целью повышения его эффективности [1].

Основным аспектом контроллинга является интеграция различных сфер деятельности, таких как промышленная безопасность, экология и охрана труда, в единую систему, которая обеспечивает системный мониторинг, своевременное реагирование на риски и предотвращение аварийных ситуаций [2].

Система контроллинга в этих областях помогает эффективно управлять рисками, связанными с производственными процессами, а также минимизировать воздействие негативных факторов на окружающую среду и здоровье работников.

Одним из ключевых направлений теоретических основ контроллинга является создание моделей предсказания и оценки рисков, которые позволяют на ранних стадиях выявить потенциальные угрозы и разработать меры для их предотвращения. Это включает в себя как традиционные методы анализа (например, статистическое моделирование и экспертные оценки), так и новейшие подходы, основанные на использовании технологий больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Кроме того, важным аспектом теоретической базы контроллинга является интеграция принципов устойчивого развития и социальной ответственности в корпоративную стратегию.

Таким образом, контроллинг в сфере промышленной, экологической безопасности и охраны труда представляет собой не только инструмент для повышения эффективности управления рисками, но и важную стратегическую составляющую, направленную на долгосрочное и устойчивое развитие предприятий.

Литература

1. **Шмидт, Е.Н.** (2019). Роль контроллинга в управлении рисками на предприятиях. Журнал «Экономика и управление», 3(85), 45–51.
2. **Кузнецова, Н.С.** (2021). Методы контроллинга для повышения эффективности устойчивого развития предприятий. Журнал «Корпоративное управление», 2(52), 34–40.

Т.В. Памбухчан, студ.; рук. А.Г. Бердник, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ СЕТЕЙ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Аварии на объектах газораспределения и газопотребления приводят к серьезным экономическим и экологическим последствиям. Изучение причин возникновения аварийности на опасных производственных объектах (ОПО) является актуальным и необходимым для повышения уровня безопасности, защиты людей и природы, а также для обеспечения устойчивой работы промышленных объектов.

Сеть газопотребления представляет собой сложный производственно-технологический комплекс, от устойчивого развития и работы которого зависит благосостояние страны. Самым экономически выгодным и чистым топливом является природный газ (метан в его составе).

На ОПО выделяются три группы причин, способствующих возникновению и развитию аварий [1]:

- отказы оборудования (коррозия, физический износ, механические повреждения, ошибки при проектировании и изготовлении, дефекты в сварных соединениях, нарушение режимов эксплуатации);
- ошибки персонала (во время ремонтных и профилактических работ, пуска оборудования, локализации аварийных ситуаций);
- внешние воздействия природного и техногенного характера (штормовые ветры и ураганы, снежные заносы, ливневые дожди, грозовые разряды, механические повреждения, взрывы, пожары).

Основные причины аварий на объектах сети газопотребления — организационные: недостаточная проработка планов производства работ, низкая производственная и технологическая дисциплина, нарушения производственных инструкций персоналом по причине плохого знания их, отсутствие практических навыков, халатность.

Определение причинно-следственной связи между результатами работы службы производственного контроля предприятий, Ростехнадзора и причинами аварийности может стать основой для внедрения лучших практик управления безопасностью и повышения уровня ответственности на всех уровнях.

Литература

1. **Федеральный закон №116-ФЗ от 21.07.1997 г.** «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

А.Н. Сергеев, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРИЧИН АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Причины аварий на объектах электроэнергетики могут быть различные. К ним относятся повреждения на энергопроизводящих установках, обрывы линий электропередачи, взрывы на трансформаторных подстанциях и др. Экспертиза причин аварий имеет большое значение для их предупреждения [1].

Одной из современных технологий при проведении экспертизы причин аварий на объектах электроэнергетики является анализ больших данных. Это технология предполагает обработку большого массива информации, что позволяет не только предупредить нарушения, связанные с состоянием электроэнергетических систем, но и прогнозировать возможные повреждения в дальнейшем.

Другая технология основана на использовании искусственного интеллекта. Она направлена на своевременное выявление и устранение дефектов, связанных с производством и эксплуатацией оборудования.

Особого внимания заслуживает создание цифровых копий реальных объектов электроэнергетической инфраструктуры. Виртуальная реальность позволяет проводить различные испытания оборудования без ущерба для электроэнергетических систем, а также обучать персонал действиям в чрезвычайных ситуациях.

В том случае, когда доступ к объектам энергетики затруднен в силу различных причин, эффективно использование дронов и роботов.

Постоянный мониторинг состояния оборудования и окружающей среды позволяют осуществить системы IoT, которые интегрируются в систему электроэнергетики и передают данные в режиме реального времени, что способствует получению оперативной информации, быстрому принятию решений и предотвращению аварийных ситуаций.

Таким образом, использование современных технологий улучшает качество экспертизы, направленное на выявление причин аварий на объектах электроэнергетики, поскольку позволяет сократить время экспертизы, сделать экспертизу более информативной и минимизировать возможные риски.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 28.10.2009 № 846** (ред. от 24.05.2017) «Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике».

Д.В. Евстигнеев, студ.; рук. Ю.Н. Бурвикова, к.х.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЧАСТИЦ РМ 10 И РМ 2,5

В настоящее время вопросы экологического благополучия населения приобретают всё более высокое значение. Именно поэтому 3-я из 17 Целей устойчивого развития провозглашает «Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте». Люди могут выбирать для себя отказ от курения, правильное питание и занятия спортом, но все это не будет иметь смысла без чистого атмосферного воздуха (АВ).

Одним из приоритетных загрязнителей атмосферы по мнению ВОЗ являются мелкодисперсные частицы или как их принято обозначать РМ (от англ. particulate matter — твёрдые частицы) и далее цифрой приводят размер фракции, например, РМ 10 — частицы от 10 микрон и меньше. Влияние этих частиц на организм человека носит негативный характер, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания [1]. При этом доказано, что именно РМ 2,5 наиболее опасны, т.к. способны проникать в альвеолярную систему доставляя туда канцерогенные вещества сорбированные в порах частиц. В Российской Федерации РМ 10 и РМ 2,5 включены в перечень загрязняющих веществ [2] и подлежат контролю со стороны государства.

Целью данной работы является анализ концентрации в АВ Москвы РМ 2,5 и РМ 10 в зависимости от времени года, подобная зависимость была показана в исследованиях [3–4], и дальнейшая количественная оценка антропогенной составляющей источников РМ 2,5 в АВ по отношению к естественным (природным) источникам.

Литература

1. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. — Всемирная организация здравоохранения, 2013 г. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344855/9789289000062-rus.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (14.11.2024).
2. **Распоряжение Правительства РФ от 20.10.2023 № 2909-р** «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».
3. **Bari M.A., Kindzierski W.B.** Characteristics of air quality and sources affecting fine particulate matter (PM_{2.5}) levels in the City of Red Deer, Canada // *Environmental Pollution*. — 2017. — Vol. 221. — P. 367–376.
4. **Zhang Y.L., Cao F.** Fine particulate matter (PM 2.5) in China at a city level // *Scientific Reports*. — 2015. — Vol. 5. — P.: 1–12.

*Е.Р. Черемных, студ.;
рук. М.А. Забелин, ассист. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕГАПОЛИСА

Городской остров тепла (далее ГОТ) — это метеорологическое явление, заключающееся в повышении температуры городского пространства относительно окружающих его сельских областей. Эффект ГОТ возникает в результате нагрева солнечной радиацией больших площадей, покрытых темными материалами (асфальт, бетон и пр.), а также усугубляется воздействием антропогенных источников тепла и недостатком зеленых насаждений. Эти факторы в совокупности ведут к образованию тепловых аномалий. Влияние ГОТ на микроклимат выражается в увеличении поглощения излучения, снижении потерь тепла длинноволнового излучения на 8–20% (в зависимости от сезона), снижении скорости ветра в городских районах (снижение уровня городской вентиляции) на 10–20%, снижении относительной влажности на 8–20%, увеличении количества облаков на 5–10%, увеличении повторяемости туманов на 30%. Эти физические эффекты могут приводить к ухудшению качества жизни в городах, а также влиять на экосистемы и здоровье населения [1].

В результате анализа отечественных исследований по данной теме было установлено, что эффект ГОТ приводит к широкому спектру негативных явлений для мегаполиса, таких как:

- превышение температуры в городской местности в среднем на 2,6°C по сравнению с сельской местностью Московского региона, что увеличивает потребление энергии для кондиционирования воздуха [2];
- ухудшение качества атмосферного воздуха, выражающееся в повышении концентрации озона в тропосфере, образующегося в результате фотохимических реакций между загрязняющими веществами;
- негативное воздействие озона на дыхательную систему человека, включая обострение астмы, хронического бронхита и других респираторных заболеваний;
- перегрев организма и обострение сердечно-сосудистых заболеваний на фоне повышенных температур.

Литература

1. **Литвенкова И.А.** Курс лекций «Экология городской среды: урбоэкология» // Витебск: Издательство УО «ВГУ им. П.М. Машерова», 2005. — 163 с.
2. **Локощенко М.А., Енукова Е.А.** Городской тепловой остров в Москве, полученный по спутниковым данным // 2020, Метеорология и гидрология, 2020, № 7, стр. 50–63.

Д.И. Малыгин, студ.; рук. Н.В. Васильева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА НА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ СТРЕСС И ВЕРОЯТНОСТЬ ТРАВМИРОВАНИЯ У ПЕРСОНАЛА

Процедура оценки профессионального риска входит в систему управления охраной труда в организации и может позволить учитывать при ее проведении полный перечень параметров эргономической оценки. В настоящее время не сформирован универсальный алгоритм и перечень эргономических показателей, которые необходимо оценивать. В Таблице 1 представлен анализ влияния эргономических факторов на оператора.

Таблица 1. Влияние эргономических показателей на персонал

Профессия	Полученная травма	Эргономический фактор	Влияние на оператора
Работники видеодисплейных терминалов	Заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой, костно-мышечной, нервной систем [1]	Средства отображения информации	Необходимость формирования перцептивного образа. Утомление оператора из-за мелькания, непрямого контраста и при больших перепадах между сигналами, превышающими оперативный порог
Оператор мобильных машин	Заболевания шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника [2]	Антропометрия, механические колебания	Длительно фиксированная поза создает функциональный дискомфорт. Неудобная рабочая поза повышает раздражительность

Анализ исследований показал, что эргономические параметры, такие как средства отображения информации, антропометрия и механические колебания, влияют на травмирование персонала в процессе выполнения своих должностных обязанностей. Что позволяет сделать вывод о необходимости выделить группы эргономических факторов и предложить мероприятия по снижению риска травмирования.

Литература

1. **Тебенова К.С.** Влияние неблагоприятных факторов производственной среды и трудового процесса на состояние здоровья работников видеодисплейных терминалов // *Успехи современного естествознания*. — 2014. — № 4. — С. 82–84.
2. **Сабадаш В.В.** Влияние эргономических условий рабочего места операторов мобильных машин на уровень травматизма и профессиональной заболеваемости, 2005.

О.А. Неклюдова, студ.;
рук. В.И. Дубинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА В ЗАМКНУТОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

В настоящее время обеспечение безопасности экипажа в ходе космических полетов является одной из ключевых проблем, решаемых при создании и совершенствовании пилотируемых космических аппаратов (ПКА), которые, в свою очередь, обладают высокими техническими и эксплуатационными характеристиками.

При нахождении и выполнении трудовых функций на борту космического аппарата на экипаж действуют вредные и опасные факторы, такие как шум и вибрация, электромагнитное поле, радиационное и ионизирующее излучения. Также немаловажными аспектами являются психоэмоциональные нагрузки, стресс, условия невесомости и поддержание определенных условий микроклимата. Создание среды и поддержание ее состояния на заданном уровне должны обеспечиваться комплексом систем обеспечения жизнедеятельности космонавта в ПКА, а также наземным и бортовым комплексами средств и мероприятий медико-биологического обеспечения космического полета в зависимости от вида и конструкции ПКА, функционирующими в ресурсных ограничениях [1]. Условия для жизнедеятельности в обитаемом комплексе должны формироваться за счет сочетания элементов среды, в которой находятся космонавты: газовой среды для дыхания и теплообмена, водообеспечения, обеспечения питанием, санитарно-гигиенического обеспечения [2].

Одновременно, при рассмотрении достаточно длительного интервала итерации, зависимости потребления и возобновления ресурсов составными частями замкнутой системы описываются линейными уравнениями и, соответственно, определение требований к балансу оперирования ресурсами этой системы можно представить как задачу линейного программирования с критерием минимизации массы пополняемых ресурсов.

Таким образом, создание обитаемых комплексов замкнутых экосистем и схем их эксплуатации является важной задачей в контексте развития долговременных космических миссий и изучения принципов устойчивой жизнеобеспеченности экипажа во время трудовой деятельности.

Литература

1. Космическая биология и медицина. Избранные лекции в 3 томах. Том 1. Космическая биология / Под редакцией О.И. Орлова, Л.Б. Буравковой. — М.: ГНЦ РФ — ИМБП РАН, 2022. — 172 с.
2. **ГОСТ Р 50804-95.** Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования.

И.С. Долгинцев, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, доцент (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

Производственный травматизм сопровождается значительными экономическими потерями для предприятий, общества и государства. Существуют различные подходы к их оценке, основанные как на российских, так и международных исследованиях. В таблице приведён сравнительный анализ наиболее популярных методик.

Таблица 1. Сравнительный анализ методик расчета экономических потерь

Методика	Достоинства	Недостатки	Точность расчетов
Министерство труда РФ	Применима к различным отраслям, соответствие российским нормам и законодательству	Ограниченный учет затрат и доступ к данным	Средняя: упрощенный учет данных [1]
Международная организация труда	Учёт долгосрочных социальных эффектов, человеческих издержек	Высокая трудоемкость, необходимость глобальных данных	Высокая: комплексный подход, охват нематериальных издержек [2]
Occupational Safety and Health Administration (OSHA, США)	Быстрота расчетов и простота, интерактивный подход	Ограниченность в анализе долгосрочных потерь	Средняя: упрощенные расчеты для бизнеса [2]

В результате анализа можно сделать выводы: методика Минтруда РФ больше ориентирована на потребности предприятий в оценке текущих прямых и косвенных затрат; МОТ предоставляет универсальную систему, применимую для макроуровня, но требует больше данных и усилий для расчетов; OSHA делает упор на доступность и удобство для малого и среднего бизнеса, упрощая подход, но снижая детализацию анализа.

Литература

1. Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда [электронный ресурс]. URL: <https://eisot.rosmintrud.ru>.
2. Европейское агентство по охране труда и безопасности. Международное сравнение затрат на производственные несчастные случаи / European Agency for Safety and Health at Work. — Брюссель: Европейская комиссия, 2021. — URL: <https://osha.europa.eu>.

А.Е. Калачева, студ.; рук. Н.Б. Рубцова, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ВБЛИЗИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Обеспечение электромагнитной безопасности (ЭМБ) населения в условиях городской застройки требует учета воздействия электромагнитного поля (ЭМП) промышленной частоты (ПЧ), создаваемого воздушными линиями электропередачи (ВЛ), как одного из факторов риска потери здоровья. Для оценки электромагнитной обстановки (ЭМО) вблизи линий напряжением 110–220 кВ, чаще всего проходящих через жилые районы, оптимально использование расчетных методов.

На данный момент существует множество компьютерных программ, способных с высокой точностью рассчитывать уровни ЭМП ПЧ с учетом параметров линии. Так, «SEMCAD X», разработанный фирмой «SPEAG» (Швейцария), представляет собой универсальный программный продукт для трехмерного численного моделирования ЭМП, основанный на методе конечных разностей во временной области (FDTD) [1]. Он способен учитывать неоднородности сред, что важно для исследований взаимодействия ЭМП с биологическими объектами. Однако использование программы для гигиенической оценки ЭМО вблизи ВЛ затруднительно, так как требует больше времени на подготовку модели и ее расчет.

Российское программное обеспечение «ЭМП ВЛ» разработано специально для целей гигиенического контроля и обеспечения ЭМБ объектов электроэнергетики, в том числе ВЛ [2]. Программа использует аналитический метод расчета ЭМП вблизи ВЛ с учетом ее геометрии (высоты подвеса проводов, расстояния между фазами) и параметров линии (токов и напряжений). Ее ключевым преимуществом является высокая сходимости расчетных данных с результатами натуральных измерений, что подтверждено исследованиями [3].

Таким образом, обеспечение ЭМБ ВЛ на селитебной территории требует применения комплексного подхода, при котором обеспечивается высокая точность и надежность гигиенической оценки.

Литература

1. EuCAP animation SPEAG, Schmid & Partner Engineering AG [Электронный ресурс]. — URL: www.semcad.com, свободный (дата обращения: 22.11.24).
2. **Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю.** Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. — М.: Наука, 2010. — 868 с.
3. **Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Седунов В.Н., Демин С.А., Токарский А.Ю.** Электромагнитные поля воздушных и кабельных линий электропередачи как фактор риска для здоровья населения // Безопасность в техносфере. — 2011. — № 11. — С. 18–25.

Д.К. Трусов, студ.; рук. А.Г. Бердник, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПО

Промышленная безопасность опасных производственных объектов (ОПО) является одной из ключевых задач, стоящих перед современным обществом. В условиях ускоренного технологического прогресса необходимость в эффективных методах оценки состояния промышленной безопасности становится особенно актуальной. В современном анализе рисков на ОПО выделяют качественные и количественные методы оценки риска. Для количественной оценки риска аварий используются:

- Статистические данные по аварийности, надежности технических устройств и технологических систем;
- Логико — графические методы;
- Экспертные специальные знания в области аварийности и травматизма на ОПО, надежности технологических систем.

К качественным методам относят следующие методы, делящиеся на четыре подгруппы:

- Методы, основанные на использовании первичной информации;
- Методы, основанные на получении новой информации;
- Методы моделирования производственных процессов ОПО;
- Экспертные методы качественного анализа.

Такой комплексный подход к оценке и управлению рисками позволяет более эффективно выявлять и минимизировать угрозы, обеспечивая безопасность, как работников, так и окружающей среды на ОПО. При этом у комплексного подхода есть и недостатки: субъективность и зависимость от уровня квалификации эксперта, сложность и длительность выполнения оценки, потребность в большом количестве данных и информации, зависимость от корректности исходных данных — все это может потребовать существенных затрат ресурсов и времени. Частично нивелировать недостатки можно путем применения методов оценки состояния промышленной безопасности ОПО, учитывающих специфические условия рассматриваемой отрасли, а также, совершенствуя систему мониторинга и управления рисками на основе интегрированных подходов, развивая методологию оценки рисков с учётом неопределённости и изменчивости параметров, влияющих на промышленную безопасность ОПО.

Литература

1. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 03 ноября 2022 № 387 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и риска на опасных производственных объектах».

В.А. Мельников, студ.; Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УЩЕРБЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Новые субъекты Российской Федерации получили значительный ущерб в области электроэнергетического комплекса, только в 2022 году было восстановлено более 3,5 тысяч электросетевых объектов и для полной интеграции системы электроснабжения новых регионов требуется восстановление разрушенной энергетической инфраструктуры. Чтобы обеспечить устойчивость при повреждении электросетевого комплекса, энергосистема должна обладать способностью, позволяющей восстановить подачу электроэнергии как можно большему числу участков сети в течение короткого периода времени. Традиционно восстановление электроснабжения осуществляется путем создания альтернативных подстанций и возможных маршрутов, за которыми следует реконфигурация сети, чтобы можно было восстановить подачу энергии в зону отключения через эти подстанции. Важно иметь стратегии для быстрого восстановления и обхода поврежденных объектов, а также необходимо разработать планы для изоляции участков сети.

Для создания системы с восстанавливающей способностью необходимо провести программы ремонта, модернизации действующего оборудования, а также строительство нового необходимого оборудования и разработка нестандартных схем распределения. В работе разработаны методы, основанные на отечественном и зарубежном опыте. Каждый из методов должен включать в себя оценку разрушений, которые произошли на объектах, проект для системы жизнеобеспечения города, программу строительства, ремонта и модернизации и в дополнение экологическое обеспечение программы [1].

Восстановление энергосистемы предполагает два основных сценария: подключение к внешним источникам электроэнергии через соединительные линии и автономное восстановление с использованием локальных генераторов на обслуживаемой территории («островной» режим). Эффективность «островного» режима значительно повышается за счёт широкого использования распределённой генерации. В дальнейшем использование локальных генераторов также может обеспечить быстрое и экономичное резервирование на восстановление критических нагрузок.

Литература

1. **National Academies of Sciences**, Terrorism and the Electric Power Delivery System. Washington, DC: The National Academies Press Chapter: 7 Restoration of the Electric Power System After an Attack p. 69, 2012.

И.А. Гасилин, студ.; рук. А.И. Быков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Вырабатывание электроэнергии с помощью газотурбинных установок (ГТУ) имеет ряд положительных особенностей, благодаря которым они становятся все более востребованными и предпочтительными по сравнению с паровыми турбинами: быстрый запуск; дополнительная тепловая энергия; малые габариты; возможность установки в труднодоступных местах [1].

Главным недостатком ГТУ является высокое акустическое воздействие, которое негативно влияет на людей и окружающую среду.

Цель работы: рассмотреть и проанализировать до и после применения, мероприятий и средств по снижению шума газотурбинной установки.

В результате анализа выделены основные источники генерации шумового загрязнения от ГТУ на 16 МВт.: системы впуска турбины, системы выпуска отработавших газов (выхлоп), структурный шум турбины, аэродинамический шум газовых струй [2]. Изначальные значения превышают требуемый уровень звукового давления и эквивалентный уровень звука на рабочих местах от 15% до 52%, исходя из приказа Министерства труда №817н от 21.11.2023 [3].

Снижения шума достигается путем применения комплексных мер и средств по снижению акустического воздействия, таких как облицовка помещения звукопоглощающими материалами; установка шумоизолирующего кожуха на агрегат; установка диссипативных глушителей на системы воздухозабора и выхлопа.

Рассчитанные мероприятия — облицовка, установка звукоизолирующего кожуха и диссипативных глушителей снизили значения интенсивности акустического воздействия до требуемых значений в помещении с ГТУ и на территории непосредственно прилегающей к строению ГТУ.

Литература

1. **Тищенко Н.И.** Достоинства и недостатки газотурбинных электростанций // *Аллея науки*. — 2018. — Т. 1. — № 2. — С. 157–159.
2. **Хакимуллин Б.Р., Зайнуллин Р.Р.** Шумовые характеристики газотурбинных установок // *Теория и практика современной науки*. — 2017. — № 4 (22).
3. **Приказ Минтруда России от 21.11.2023 N 817н** «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

*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)*

ЭФФЕКТИВНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОТОПИТЕЛЬНО-ВАРОЧНАЯ ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ

Бытовые твердотопливные печи для отопления помещений и приготовления пищи широко распространены в сельских поселениях, частных домах, в дачах. Они могут быть как стационарными, так и переносными, и разнообразны по своему конструктивному исполнению. Общим их недостатком является низкое тепловое к.п.д. из-за больших потерь теплоты с уходящими дымовыми газами и загрязнение окружающей среды вредными для природы компонентами.

Была разработана транспортабельная каталитическая отопительно-варочная твердотопливная печь длительного горения [1], в значительной степени лишенная недостатков известных печей подобного назначения. В предложенной печи используется ряд новых инновационных решений, повышающих ее функциональность и эффективность.

Так, наличие в печи камеры каталитического дожигания дает возможность практически полностью устранить продукты недожога и экологически вредные компоненты в составе топочных газов. Проведенные опыты показали также значительное снижение содержания диоксида углерода в топочных газах (декарбонизация).

На внутренней поверхности варочной горизонтальной чугунной плиты имеются ребра, образующие ряды открытых снизу ниш, заполняемых продуктами горения, что способствует интенсификации прогрева варочной плиты и достижению однородности температурного поля на всей площади поверхности плиты. К особенностям печи относятся и наличие теплоутилизационных устройств, используемых для высушивания пищевых продуктов или одежды, а также для других нужд. Расчетный тепловой к.п.д. печи составляет 0,9.

Студенты-соавторы настоящей работы участвовали в проведении экспериментов по каталитическому обезвреживанию продуктов сжигания, обработке полученных опытных данных и их анализе.

Литература

1. Пат. РФ № 2776986, МПК F 24 В 1/26, F 24 В 9/00, F 24 В 5/06. / Ю.Я. Печенегов, И.Г. Остроумов, Р.И. Кузьмина, О.В. Бурухина, В.А. Косов, М.А. Косов. Опубл. 29.07.2022, Бюл. № 22.

И.Ю. Изотиков, студ.;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗОЛО- И СЕРОУЛАВЛИВАНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКИХ ТЭС

С 2015 года в России Федеральным законом от 21.07.2014 №219-ФЗ внесены изменения в закон «Об охране окружающей среды», который установил осуществление нормирования на принципах наилучших доступных технологий (НДТ). В связи с чем для объектов I и некоторых II категории НВОС необходимо получить комплексное экологическое разрешение (КЭР) [1]. Вместе с тем, данное требование затрагивает и предприятия по производству электрической и тепловой энергии посредством сжигания топлива, в частности — при сжигании угля.

Сложность поставленной задачи 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, а больше всего по золе твёрдого топлива и оксидам серы [2]. Следовательно, предприятиям данной категории необходимо внедрить НДТ, которые гарантированно могут снизить концентрации данных загрязняющих веществ до установленных нормативов в рамках программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ).

В этой связи в рамках данной работы были разработаны алгоритмы оптимального выбора НДТ золо- и сероулавливания. Данные алгоритмы учитывают множество особенностей уже функционирующих пылеугольных котлов. В частности, охватываются основные энергетические показатели установок сжигания угольной пыли, характеристики проектного топлива, тип установленного на данный момент золоуловителя, параметры вспомогательного оборудования. Характерной особенностью алгоритмов является детальная проработка возможности замены проектного угля на альтернативный, с учётом сохранения эффективности работы котлов, функционирования сушильно-мельничных систем, сохранения типа шлакоудаления, мощности тягодутьевых машин, а также неувеличение удельных выбросов CO_2 в пересчете на тонну условного топлива ($\text{тCO}_2/\text{ту.т.}$). Разработанные алгоритмы позволят предприятиям теплоэнергетики осуществить оптимальный и целесообразный выбор необходимой НДТ.

Литература

1. **Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»** (с изменениями на 26 марта 2022 года).
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.

И.Н. Шульгин, студ.; рук. А.С. Козодаев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ЗАПРЕЩЕННЫЕ К СБРОСУ ВЕЩЕСТВА

После принятия постановления Правительства РФ № 644 [1] были установлены более строгие единые нормы для всех областей России в отношении качества сточных вод, сбрасываемых в городскую канализацию. Эти меры направлены на улучшение качества сточных вод, что привело к внедрению строгих стандартов в ряде регионов. В перечень контролируемых веществ попали токсичные полициклические ароматические углеводороды, такие как бензапирен, дибутилфталат, нафталин и другие.

Исследования, проведенные на кафедре, доказали эффективность применения физико-химических методов очистки. Путем комбинирования традиционных методов очистки в одном аппарате можно добиться высокой степени очистки сточных вод от полициклических ароматических углеводородов. Таким образом на основе исследований было предложено использование комбинированного флотационного аппарата (см. рис.1), состоящего из двух камер: отстойной камеры с блоком тонкослойной очистки и флотационной камеры.

Данные аппараты очистки уже хорошо себя зарекомендовали на различных промышленных предприятиях. Однако стоит учесть, чтобы добиться максимальной эффективности необходимо правильно сочетать данный аппарат с другим оборудованием очистки сточных вод.

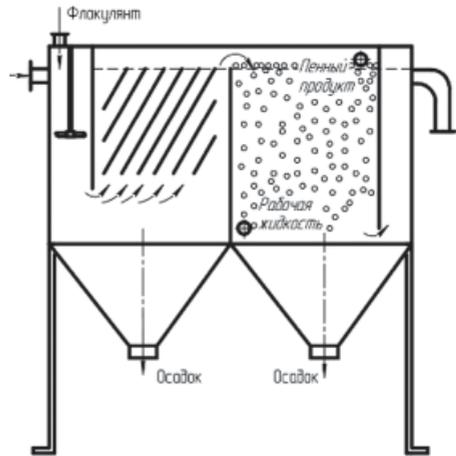


Рис. 1. Комбинированный флотационный аппарат

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644** (ред. от 28.11.2023) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

Г.Д. Черкасов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доцент (НИУ МЭИ)

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЧЕТА О ПРОИЗОШЕДШЕМ АВАРИЙНОМ СЛУЧАЕ НА ОБЪЕКТЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКИ

В настоящее время в Российской Федерации действует нормативно-правовая база [1], документы которой не всегда подходят для наглядности аварийного случая и упрощения понимания произошедшей ситуации.

В электроэнергетике, зачастую, применяют хронологическое описание произошедшей аварии [2]. Данный метод не лишен недостатков в плане быстрого и правильного понимания произошедшей ситуации, а главное — усложняет процесс разбора и идентификации причин аварии.

Исходя из вышесказанного, имеет смысл предложить разработать улучшения, касающихся изменений вида и смысловой составляющей отчетов, путем создания более наглядной (блочной или схематичной) формы отчета о произошедшем аварийном случае. Разрабатываемая система представления информации составляется хронологически, согласно тому, как происходил аварийный случай, какие действия ему предшествовали и какие действия были предприняты.

Предполагается, что такой вид представления информации будет включать в себя данные:

- о произошедшем аварийном случае;
- о действиях административного и оперативного персонала (с указанием группы по электробезопасности, стажем работы и сданных экзаменах);
- об оборудовании всего присоединения, на котором произошла авария (также с указанием проведенных профилактических испытаний и годом ввода в эксплуатацию).

Ожидается, что результатом создания такого продукта станет лучшее и более глубокое понимание причин возникшего аварийного случая, а главное — разработка мер по недопущению (или минимизации) подобных случаев в будущем на рассматриваемом (или схожем) объекте электроэнергетики, на данном типе электрооборудования и при участии указанных работников.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ от 28 октября 2009 г. № 846** «Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике».
2. **Приказ Министерства энергетики РФ от 2 марта 2010 г. № 91** «Об утверждении Порядка передачи оперативной информации об авариях в электроэнергетике».

А.В. Сергеева, студ.;
рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Согласно [1] выбросы парниковых газов в России в 2021 г. составили 2156.6 млн. т. CO₂-экв. Из них на долю энергетики пришлось 1679.1 млн. т. CO₂-экв. (77.9%), в том числе от сжигания топлива всех видов в стационарных энергетических установках около 1130 млн. т. CO₂-экв. (67.3%). Суммарные выбросы парниковых газов от всех других промышленных процессов в России составили всего 259.5 млн. т. CO₂-экв.

Целью данной работы являлась оценка реальных возможностей декарбонизации российской теплоэнергетики в результате реализации первоочередных мероприятий, предусмотренных в [2].

По итогам расчетов и оценке возможных путей, выявилось, что на действующих и проектируемых угольных ТЭС большое внимание следует уделять качеству используемых углей. Низкосортные и низкокалорийные угли, сжигание которых сопровождается повышенными удельными выбросами CO₂, будут постепенно удаляться из топливного баланса ТЭС.

Наиболее эффективным решением является перевод угольных российских ТЭС на сжигание природного газа, что, согласно оценкам, позволит снизить выбросы CO₂ в теплоэнергетике на 10.5–12.0%, или на 180–200 млн. т/год.

При внедрении на газовых ТЭС парогазовых установок, эмиссия CO₂ при производстве электрической энергии может быть снижена в 1.4–1.5 раза и почти в 3 раза по сравнению с пылеугольными КЭС. Реализация этого решения зависит от освоения отечественных полностью локализованных ГТУ большой мощности.

Переход пылеугольных КЭС со сверхкритических параметров пара на суперкритические позволяет вследствие более высокого КПД уменьшить удельные выбросы CO₂ на 18–22%.

Эффективность снижения выбросов CO₂ благодаря выводу из эксплуатации устаревших энергетических установок будет полностью определяться темпами ввода новых мощностей в рамках новой Энергетической стратегии России до 2050 г.

Литература

1. Основные показатели охраны окружающей среды: Стат. бюл. М.: Росстат, 2023.
2. Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р.

*О.В. Хажметов, студ.; В.В. Черемисин, аспирант;
рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Быстровозводимые электрические сети (БЭС) — это инженерные решения для оперативного электроснабжения в условиях, когда подключение к стационарным сетям затруднено или невозможно. Комплект БЭС включает в себя мобильную трансформаторную подстанцию, линейную часть сети с кабелями облегчённой конструкции и устройства подключения под напряжением. Кабели могут быть проложены различными способами в зависимости от условий местности, их можно крепить к деревьям, опорам воздушных линий, сборным конструкциям, а также прокладывать по земле или воде с использованием поплавков. Главное преимущество БЭС — быстрое развёртывание и адаптация к любым условиям: от временных строительных площадок и вахтовых посёлков до объектов экстренного реагирования, таких как временные лагеря развёртываемые подразделениями МЧС [1].

Организация узла учета электроэнергии (ЭЭ) для БЭС представляет собой важный аспект их эксплуатации. В случае, когда узел учета ЭЭ размещается на стороне потребителя 0,4 кВ, необходимо учитывать потери электроэнергии в трансформаторе и в линейной части сети — от точки подключения к стационарной сети до узла учёта ЭЭ. Эти потери зависят от переменных параметров: протяжённости кабельной линии, характеристик нагрузки, способов и условий прокладки.

Цель работы — разработать методику расчёта потерь ЭЭ, которая будет учитывать меняющиеся условия прокладки линейной части сети комплекта БЭС. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

1. Анализ существующих подходов к расчету потерь ЭЭ в БЭС.
2. Определение факторов, влияющих на потери электроэнергии.
3. Разработка математической модели БЭС для расчета потерь.
4. Обоснование предложений по размещению узла учета БЭС: в точке подключения; на стороне высокого или низкого напряжения мобильной подстанции.

Литература

1. Удинцев Д.Н., Тульский В.Н., Кочнев С.С., Черемисин В.В. Быстровозводимые электрические сети // Энергетик. 2024. № 3. С. 19–24.
2. Приказ Министерства энергетики РФ от 7 августа 2014 г. № 506 «Об утверждении Методики определения нормативов потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям».
3. Методические рекомендации по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6)-0,4 кВ.

Н.В. Лысов, студ.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДСТАНЦИЙ

Согласно перечню [1], в РФ более 400 электросетевых организаций на 2024 год. Электросетевые организации имеют различные стандарты, определяющие особенности эксплуатации подстанционного оборудования, в связи с чем отсутствует общее нормативное поле в области эксплуатации оборудования. Так, например, Положение о технической политике АО «ОЭК» [2] и Положение ПАО «ФСК ЕЭС» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [3] являются локальными нормативными актами, содержащими решения в том числе и в области эксплуатации подстанционного оборудования. Однако, два этих похожих документа содержат различия, например, в разделе, посвященном контролю параметров вводов трансформатора. Также согласно приказу Минпромторга № 2422 [4] в РФ реализуются мероприятия по импортозамещению в электроэнергетической отрасли. В рамках импортозамещения увеличивается доля российского оборудования, этот процесс предполагает актуализацию и разработку технологических карт, что необходимо отразить в методических материалах по эксплуатации подстанций.

Целью работы является разработка рекомендаций по эксплуатации оборудования подстанций напряжением 35 кВ и выше. Данное прикладное исследование подразумевает разработку методического комплекса, который будет полезен работникам электросетевого хозяйства, в результате чего снизится вероятность аварийных ситуаций при эксплуатации оборудования. Для достижения этой цели будут решены следующие задачи:

1. Анализ нормативно-правовой документации по эксплуатации подстанционного оборудования;
2. Устранение разрозненности стандартов и их актуализация в виде рекомендаций.

Литература

1. Перечень сетевых организаций, являющихся собственниками или иными законными владельцами объектов электросетевого хозяйства 110 кВ и выше в ЕЭС России и 35 кВ и выше в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах.
2. Положение о технической политике АО «ОЭК».
3. Положение ПАО «ФСК ЕЭС» «О единой технической политике в электросетевом комплексе».
4. **Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 2 июля 2021 г. № 2422 «Об утверждении Плана мероприятий по импортозамещению в отрасли энергетического машиностроения, электротехнической и кабельной промышленности Российской Федерации».**

Е.С. Бекичева, студ.;
рук. А.В. Мордвинова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПОЖАРОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В АТМОСФЕРЕ С ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ КИСЛОРОДА

Исследование условий возникновения пожаров в обогащенной кислородом атмосфере проводятся на примере медицинских барокамер. Атмосфера внутри этих аппаратов представляет собой смесь воздуха и газов, где объемная концентрация кислорода превышает 23,5%, и является окислительной средой. Учеными сделан вывод, что в барокамерах пожар может возникнуть от безопасных в обычной воздушной атмосфере источников [1]. При этом, опасность может возникнуть как в самих аппаратах, так и помещениях, где они размещаются. В таблице 1 представлены возможные пожаропасные ситуации, связанные с наличием кислорода и предлагаемые способы их предотвращения:

Таблица 1. Возможные пожаропасные ситуации, возникающие в барокамерах, и способы их предотвращения

Место аварии	Характеристика атмосферы	Аварийная ситуация	Способ предотвращения
Внутри барокамеры	Обогащена кислородом в нормальном режиме работы	Отказы оборудования внутри барокамеры. Возникновение источника зажигания при неисправности электропроводки. Статическое электричество.	Правильный подбор материалов и взрывозащиты электрокабелей для данной среды. Своевременная проверка исправности всех устройств. Обучение персонала.
Помещение барокамеры	Обычная атмосфера, соответствующая атмосфере окружающей среды при нормальном режиме работ. Возможно обогащение кислородом в случае аварийной ситуации.	Разрушение наружного трубопровода поступления кислорода Возгорание пропитанной кислородом одежды пациента при контакте с источником зажигания.	Систематический контроль техники, состояния герметичности оборудования. Автоматическое отключение линии подачи кислорода. Правильный подбор материалов и взрывозащиты электрокабелей для данной среды. Обучение персонала.

Литература

- Болодьян И.А., Мелихов А.С., Лагозин А Ю.** Особенности расследования пожаров в одноместных кислородных бароаппаратах // Пожарная безопасность. — 2015. — № 4. — С. 141-144.

А.А. Загорский, студ.;
рук. А.В. Мордвинова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Источники производства электрической и тепловой энергии в настоящее время являются неотъемлемой частью оборудования вспомогательного назначения практически для любых производственных предприятий.

Для обеспечения удалённых объектов, таких как поселки шахтеров или нефтедобытчиков, могут применяться мобильные варианты газотурбинных установок, которые представляют собой передвижные агрегаты для выработки электрической и тепловой энергии [1]. Ключевые преимущества мобильных газотурбинных установок (МГТУ) заключаются в их способности работать на любом жидком или газообразном топливе, поддерживать режим когенерации с общей эффективностью свыше 90%, обеспечивать низкий уровень шума (не более 80 дБ), а также минимизировать затраты на эксплуатацию и обслуживание [2].

Учитывая, наличие горючего топлива, а также удаленность районов эксплуатации МГТУ, в том числе от служб пожарной охраны, разработка системы обеспечения пожарной безопасности для таких объектов очень важна и необходима для предупреждения пожаров и других несчастных случаев.

Анализ действующих норм пожарной безопасности показал недостаточность требований для МГТУ, что обуславливает необходимость разработки дополнительных требований, которые должны учитывать их пожарную опасность. При этом, как показывают расчеты, как правило, МГТУ по уровню опасности относятся к наружным установкам категории АН по СП 12.13130.2009 [3], а не ГН (как можно ошибочно предположить, исходя из их функционального назначения) и следовательно дополнительные требования необходимо базировать на требованиях, предъявляемых к установкам категории АН.

Литература

1. **А.В. Марков** «Мобильные газотурбинные установки: обзор современных конструкций»/ Актуальные проблемы авиации и космонавтики — 2022. Том 1, стр. 263–264.
2. Газотурбинные электростанции. Мобильная газотурбинная электростанция. [Электронный ресурс] URL: <https://fb.ru/article/305495/gazoturbinnyye-elektrostantsiimobilnaya-gazoturbinnaya-elektrostantsiya> (дата обращения: 01.12.2024)
3. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

А.А. Загорская, студ.;
рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ С УЧЁТОМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ СВЕТА

Современные технологии и расширяющиеся технические возможности систем светодиодного освещения позволяют рассматривать вопросы внутреннего освещения не только через призму соблюдения требований нормативных документов — санитарных и строительных правил, но и с точки зрения создания комфортной и благоприятной световой среды.

Комфортная световая среда представляет собой совокупность объективных визуальных и невизуальных характеристик, которые оказывают положительное влияние на психоэмоциональное и физиологическое состояние человека, способствуя эффективному выполнению зрительных задач в повседневной деятельности [1].

Работа направлена на разработку и реализацию светодиодных систем, способных адаптироваться ко времени суток и типу выполняемой деятельности. Светодиоды позволяют поддерживать циркадные ритмы, снижать зрительное напряжение и обеспечивать высокую энергоэффективность.

Кроме того, важным аспектом исследования является учёт визуальных и невизуальных эффектов света. Динамические сценарии освещения, которые включают изменение цветовой температуры и яркости в течение дня, способны не только повышать продуктивность пользователей, но и оказывать положительное влияние на их общее состояние. Например, утренний нейтральный свет способствует активизации когнитивных функций, а вечерний тёплый свет снижает уровень стресса и подготавливает организм к отдыху [2].

Таким образом, данное исследование направлено на разработку и проектирование систем освещения, которые сочетают эргономические, физиологические и экономические аспекты. Это обеспечивает улучшение качества световой среды, поддержание здоровья и продуктивности пользователей, а также отвечает современным требованиям устойчивого развития.

Литература

1. **Харченко Н.В., Поспелова Е.В.** «Эргономика в проектировании освещения». М.: Издательство МЭИ, 2017.
2. **Боуце Р.** “Human Factors in Lighting”. 3rd Edition. CRC Press, 2014.

А.А. Дубоносов, студ.; рук. Н.В. Звонкова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Направление мер государственной политики на достижение целевых показателей энергосбережения и повышение энергоэффективности экономики страны осуществляется через повышение энергобезопасности промышленности. Каждая отрасль имеет свою специфику в вопросах обеспечения энергобезопасности, которая в общем виде сводится к обеспечению стабильного доступа к топливно-экономическим ресурсам в требуемом объёме и определённого качества. В настоящее время, потребности в энергии российских предприятий в основном удовлетворяются за счет добычи нефти, природного газа и угля. При этом снижение темпов и объёмов добычи энергетических ресурсов, сокращение их запасов, устаревшие основные производственные фонды и медленные темпы их обновления, отставание в развитии собственных технологий и многое другое создаёт определенные угрозы экономическому развитию страны [1].

Одной из наиболее энергоёмких отраслей является производство цемента, поэтому определение приоритетных направлений для повышения энергетической безопасности именно в данной отрасли особенно важно для достижения целей энергоэффективности на национальном уровне [2].

В работе проведен анализ основных показателей энергоэффективности и определяющие их факторы, выявлены наиболее значимые проблемы предприятий цементной промышленности для повышения их энергоэффективности, определены основные подходы для достижения целевых показателей в данной области и выработан наиболее целесообразный подход для повышения энергобезопасности на цементных предприятиях. Основные подходы для повышения энергоэффективности предприятий цементной промышленности определены на основании информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям ИТС НДТ 6–2022 и ИТС НДТ 48–2023.

Литература

1. **В.А. Гузь, Е.В. Высоцкий.** Российская цементная промышленность в 2022 году / Цемент и его применение. — 2023. — № 1. — С. 16–18. — EDN QTCSHK.
2. **О.Е. Кондратьева, П.В. Росляков, А.М. Боровкова [и др.]** / Экология: Учебник и практикум — 1-е изд.. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 283 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00769-5. — EDN ПМКМН.

В.К. Акулинин, студ.; рук. Н.В. Звонкова, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С УЧЕТОМ ТИПА ЛОКАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ

В связи с быстро растущими темпами жилищного строительства и увеличением как плотности, так и этажности застройки, возникает вопрос о вертикальном распределении концентрации загрязняющих веществ. Исследования показывают, что при определенных условиях выбросы стационарных источников на высоте 30–50 метров, то есть на уровне 10–16 этажей, могут рассеиваться не в полной мере, что создает для жителей верхних этажей многоэтажных зданий определенные угрозы, так как вещества, содержащиеся в выбросах, способны вызвать ряд серьезных заболеваний. Корректный расчет позволяет оценить ущерб качеству атмосферного воздуха в любой точке по высоте здания и внедрить мероприятия по защите окружающей среды и населения [1].

При расчете учитываются множество параметров, таких как высота здания, расстояние от источника до здания, высота точечного источника, тип локальной застройки. В обязательном порядке должны учитываться метеорологические параметры, такие как роза ветров, температура воздуха, период года. Одним из важнейших факторов является тип локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, торцевая под углом, смешанная), поскольку разные виды застройки создают различные условия для рассеивания и скопления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [2].

В работе проведен расчет рассеивания загрязняющих веществ от районной котельной с учетом сложившейся высотной застройки и метеорологических параметров, проведена оценка воздействия стационарного источника загрязнения на качество атмосферного воздуха на высоте разных этажей здания, разработаны рекомендации для проведения мероприятий по снижению негативного воздействия от загрязнения воздуха.

Литература

1. **Гиясов Б.И., Гурович Б.М.** Влияние архитектуры и планировочной структуры современной городской застройки на экологию окружающей среды. Строительство и реконструкция. 2022;(5):94–103. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103>
2. **Литвинова, Н.А.** О модели вертикального распределения концентраций загрязняющих веществ по высоте зданий с учетом типа локальной застройки / Н.А. Литвинова, В.Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2021. — № 3(84). — С. 108–121. — EDN MNAАНК.

Ч.А. Дыртык, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДСТАНЦИИ ПРИ АВАРИЯХ С МАЛОНАПОЛНЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

На подстанциях существует несколько элементов и процессов, которые могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду. В распределительных устройствах в соответствии с ПУЭ, п. 4.1.28 должны предусматриваться мероприятия по защите окружающей среды от загрязнения маслonaполненных оборудования [1]. Для минимизации негативного воздействия, требуется разработка эффективных методов предотвращения утечек масла и ликвидации последствий аварийных ситуаций. Обеспечение экологической безопасности является одним из актуальных вопросов в современном мире.

Целью данной работы заключается в разработке и предложении эффективных мероприятий по обеспечению экологической безопасности на подстанции при авариях с маслonaполненным оборудованием.

Теоретическая и методологическая база исследования основана, в первую очередь, на федеральных законах, Конституции Российской Федерации, ГОСТах, нормативно-правовых актах. Основными документами для данной работы являются:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 27.12.2019);
- Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 №96-ФЗ (ред. от 26.07.2019);

На сегодняшний день вопросы экологической безопасности окружающей среды занимают приоритетное место. Энергетические объекты представляют собой значительные риски для экологии, поскольку осуществляются выбросы токсичных веществ в воздух, шум, термические и электромагнитные излучения, возникающие в процессе производства. Все эти факторы оказывают негативное воздействие на атмосферу.

В работе был произведен анализ нормативно-правовой базы, систематизация данных по случаям аварий и определены проблемы и недостатки экологической безопасности на подстанциях.

По итогам проведенного исследования и анализа вопросов экологической безопасности на подстанциях с маслonaполненным оборудованием, совершенствование мероприятий существенно снижает риск возникновения аварий и повысить защиту окружающей среды.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. — 7 изд. — М.: НТБЦПБ, 2012.

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 30

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ

General issues of the economy

Председатель секции: Коновалова Оксана Геннадьевна

Секретарь секции: к. т. н. Коломиец Юлия Георгиевна

Е. В. Кузнецова, студ.; рук. Д. В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ «SMART HOME»

«Smart home» — высокотехнологичная система, в рамках которой все имеющиеся коммуникации объединяются в общую сеть и работают под постоянным контролем, учитывая индивидуальные потребности потребителей, а управляются при помощи искусственного интеллекта.

На сегодняшний день рынок предлагает множество вариантов систем, которые можно объединять между собой. Комплектация «Smart Home» разнообразна, но существуют базовые варианты функций умного дома [1].

Самая распространённая и бюджетной является управление светом, которая реализуется без пространственных ограничений. За счёт диммеров автоматизируется работа по выбранной команде: движению объекта или звуковому сигналу. Функционал систем вентиляции, кондиционирования и отопления, от работоспособности которых зависит здоровье и безопасность человека, заключается в поддержании температуры, влажности и чистоты воздуха. «Smart Home» обеспечивает личную и инженерную безопасность за счёт целостности внешних и внутренних пропускных систем, сигнализации, видеонаблюдения, датчиков обнаружения дыма и вызова охраны. Мультимедийная система объекта отвечает за управление техникой с возможностью удаленного регулирования устройствами, воспроизведения контента и создания благоприятных атмосферы.

В результате анализа автор выделил следующие достоинства данной системы: все коммуникации объединяются в единую сеть с простой инсталляцией в любое сооружение, имея при этом лёгкую настройку, удобный принцип управления и модульность схем внедрения новых устройств. Помимо удобства, безопасности и контроля «Smart Home» значительно повышает энергоэффективность, уменьшая тем самым затраты на содержание самого дома.

В ходе исследования автор отметил следующие недостатки: значительные единовременные затраты на оборудование и установку, зависимость системы от интернет-соединения. Но определяя самую тяжёлую в решении проблему, обратим внимание на то, что при работе с Big Data и облачным хранилищем возникает возможность утечки личной информации или взлома пользователя. Однако с данными проблемами сталкивается большинство цифровых технологий, что даёт начало развития современным наукам, например, кибербезопасности, и теперь решение этих недоработок будет являться лишь вопросом времени.

Литература

1. Что такое умный дом?: [Электронный ресурс] // INTELVISION. UPL: <https://www.intelvision.ru/blog/what-is-smarthome>

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

ЦИФРОВОЕ НЕРАВЕНСТВО

Цифровое неравенство — неравный доступ к цифровым технологиям, который создает социальные и экономические барьеры. Данная проблема является актуальной в РФ, так как различные регионы характеризуются неравномерностью развития, высоким уровнем социального расслоения населения и низким качеством цифровой инфраструктуры. [1]

В результате анализа статистики Росстата, автором выявлено, что основополагающим фактором, влияющим на цифровой разрыв, является наличие доступа к сети Интернет, которую можно рассматривать как фундаментальную основу для других цифровых и информационных технологий. Например, разница между наивысшей и наименьшей долей населения, использовавшего Интернет, за 2023 год по субъектам РФ составила 20,7% (Чукотский автономный округ — 99,9%, Орловская область — 79,2%). Также автором обнаружено, что еще одним фактором является ограниченность опыта и знаний граждан для работы с цифровыми и информационными технологиями. Наибольший процент населения, не использовавшего интернет из-за отсутствия технической возможности, равен 16,8% (Магаданская область), в то время как из-за отсутствия навыков — 97,4% (Ямало-Ненецкий автономный округ), а средние значения 2,2% и 43,8% соответственно. [2]

Неравный доступ к сети Интернет в регионах является сдерживающим фактором развития цифровой экономики. В результате этого в удаленных регионах ограничиваются возможности развития бизнеса с использованием цифровых сервисов, они более медленно адаптируются к изменяющейся структуре рынка и внедрению цифровых инноваций, что снижает их конкурентоспособность. Отсутствие качественного образования в области цифровизации приводит к нехватке квалифицированных кадров, поэтому уменьшается вклад цифровой экономики в экономический рост страны.

Вследствие проведенного анализа, можно сделать вывод, что важным шагом является поддержка отстающих регионов, развитие цифровой инфраструктуры и интеграция всего населения в процесс цифровизации, что позволит создать равные возможности для всех граждан и регионов.

Литература

1. **Квасникова М.А.** Цифровое неравенство и его влияние на социально-экономическое развитие регионов в России // Социально-политические исследования. 2020. № 1 (6).
2. **Росстат**, Выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей // Статистические таблицы 2023 год.

С.С. Молокова, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ЦЕННОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В настоящее время химическая отрасль является одной из ключевых отраслей: она способствует развитию многих жизненно-важных отраслей, а также решает многие вопросы, связанные с глобальными проблемами: глобальное потепление, загрязнение воздуха, чрезмерная выработка углекислого газа.

Проанализировав химическую отрасль, мы выявили в ней главный недостаток — научно-технологический процесс развивается более высокими темпами, чем производственная деятельность предприятий. Компании не успевают внедрять новые технологии в процесс своего производства и из-за этого происходит не только снижение объема, но и уменьшение стоимости компаний. Поэтому данная проблема является актуальной — какие особенности будет иметь применение ценностно-ориентированного управления стоимостью в химической промышленности.

По мнению автора, ценностно-ориентированное управление (ЦОУ) имеет ряд преимуществ, поэтому в условиях возрастающих экологических требований и ужесточения законодательства, компании должны демонстрировать свою экологическую устойчивость и социальную ответственность, внедряя принципы устойчивого развития [1]. ЦОУ позволяет интегрировать эти принципы в стратегию компании, обеспечивая долгосрочную устойчивость.

Также компаниям необходимо умение быстро приспосабливаться к новым изменениям, чтобы сохранить конкурентоспособность на рынке. Компании, внедряющие ЦОУ, ориентированы на привлечение квалифицированных специалистов, повышение качества продукции и развитие новых технологий. Это позволяет предприятиям быстро реагировать на меняющиеся потребности рынка и предлагать клиентам новые или усовершенствованные продукты и услуги.

В результате анализа можно сделать вывод, что ЦОУ позволяет предприятиям химической отрасли не только увеличивать стоимость компании, но и успешно функционировать в современном мире.

Литература

1. **Когденко, В.Г.** Управление стоимостью компании: ценностно-ориентированный менеджмент: учебник / В.Г. Когденко, М.В. Мельник. — Москва: Юнити-Дана, 2017. — 447 с.: ил., табл., схем. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=615934> (дата обращения: 13.11.2024). — Библиогр.: с. 419–422. — ISBN 978-5-238-02292-5. — Текст: электронный.

Д.Р. Хабибулина, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преп.

КАК ESG-ФАКТОРЫ ВЛИЯЮТ НА СТОИМОСТЬ КОМПАНИИ?

В настоящее время концепция ESG приобрела значительную роль в определении различных показателей, решении управленческих задач и много другого. ESG-концепция включает три ключевых компонента: экологические, социальные и управленческие. Среди целей и стратегий предприятий появились такие понятия как “корпоративная социальная ответственность”, “сокращение выбросов” и “утилизация отходов”. ESG-факторы значительно влияют на стоимость компании, так как они формируют ее репутацию, положение на рынке, повышают привлекательность для инвесторов. Что в конечном итоге сказывается на финансовых показателях и устойчивости компании. Поэтому проблема влияния ESG-факторов на стоимость компании актуальна [2].

ESG-факторы — это критерии, риски и возможности, связанные с окружающей средой, обществом и корпоративным управлением. Компании, активно учитывающие данные факторы, лучше справляются с потенциальными рисками, связанными с экологическими катастрофами и социальными конфликтами. Инвесторы обращают внимание на уровень ESG-рейтинга компании, тем самым спрос на акции может повыситься, так как положительные факторы дают заинтересованным лицам понять, насколько компания ответственна и устойчива, что способствует росту капитализации, а также деловой репутации [1].

Как показал анализ ESG-отчетов предприятий добывающей отрасли, влияние на стоимость компании становится все более явным. Поэтому следует включить в отчет количественную оценку стратегической эффективности, которая выражается показателями создания/разрушения стоимости. Ведь интеграция ESG-факторов в стратегию компании — это не просто тенденция, а необходимость выполнения требований законодательства и повышения привлекательности для инвесторов в современном, быстро меняющемся мире.

Литература

1. **Когденко В.Г.** Управление стоимостью компании. Ценностно-ориентированный менеджмент: учебник — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 447 с.
2. **Мясоедова, Т.Н.** Промышленная экология: учебное пособие / Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия. — Ростов-на-Дону; Таганрог: 2017. — 90 с.: ил. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499876> (дата обращения: 14.11.2024). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-9275-2720-5. — Текст: электронный.

И.О. Леонтьева, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преп.

ВЛИЯНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ДРАЙВЕРОВ НА СТОИМОСТЬ КОМПАНИИ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Химическая отрасль — это одна из ключевых секторов экономики, занимающаяся производством химических веществ и материалов, которые используются в различных отраслях, таких как фармацевтика, сельское хозяйство, строительство, автомобилестроение и многих других. Она включает в себя широкий спектр производств, от химикатов до специализированной продукции.

Операционные драйверы играют ключевую роль в формировании стоимости компании в химической отрасли, поскольку они определяют эффективность производственных процессов, управление ресурсами и уровень конкурентоспособности. На наш взгляд это драйверы: оптимизации производственных мощностей и управление затратами на сырье, которые непосредственно влияют на маржинальную прибыль. Компании, способные эффективно управлять своими активами, могут снизить затраты и повысить производительность, что в свою очередь способствует увеличению их рыночной стоимости.

Первым важным операционным драйвером являются производственные мощности. Высокий уровень производительности может быть достигнут за счет оптимизации процессов, внедрения новых технологий и повышения квалификации персонала. Чем выше производительность, тем больше возможности для масштабирования бизнеса и снижения себестоимости, что в свою очередь положительно сказывается на прибыльности и стоимости компании.

Вторым важным драйвером являются затраты на сырье. Цены на сырье и материалы могут значительно варьироваться в зависимости от внешних и внутренних факторов. Кроме того, компании, которые активно занимаются разработкой альтернативных материалов или переработкой отходов, могут снизить зависимость от колебаний цен на сырьё и повысить свою устойчивость к внешним экономическим факторам.

Анализ предприятий химической отрасли показал, что реакция на изменения на рынке и адаптация своих операций делает их более конкурентоспособными и привлекательными в глазах инвесторов и акционеров, что не может не влиять на повышение их стоимости.

Литература

1. **Когденко В.Г.** Управление стоимостью компании. Ценностно-ориентированный менеджмент: учебник — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2021. — 447 с.
2. **Рыбкина М.В.** Управление стоимостью компании: учебное пособие — Ульяновск: УлГТУ, 2020. — 306 с.

*Я.Б. Марченкова, студ.;
рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «РОССЕТИ КУБАНЬ»

Финансовое положение компании играет ключевую роль в ее деятельности, влияя на успешность, стабильность и на направления развития бизнеса. Оценка финансового состояния помогает планировать будущие шаги для обеспечения устойчивого роста предприятия.

Объектом исследования является ПАО «Россети Кубань» — филиал группы компаний «Россети». Эта организация является одной из ключевых региональных энергетических компаний, занимающейся проектированием, строительством и эксплуатацией энергетических объектов в Краснодарском крае [1]. ПАО «Россети Кубань» демонстрирует устойчивое финансовое положение. За счет грамотного управления финансовыми ресурсами компания увеличивает инвестиции в обновление сети, что позволяет повысить ее надежность, безопасность и эффективность. Активное внедрение цифровых технологий обеспечивает возможность для дальнейшего улучшения управления сетями, снижения потерь электроэнергии и повышения уровня обслуживания клиентов.

В ходе проведенной работы был осуществлен анализ финансовых результатов [2]. Финансовые результаты ПАО «Россети Кубань» за последние годы демонстрируют стабильное развитие. Выручка компании демонстрирует устойчивый рост, что связано с повышением тарифов на электроэнергию и увеличением объемов потребления в регионе. Прибыль компании также находится на стабильном уровне, что свидетельствует об эффективном управлении затратами и оптимизации бизнес-процессов. Важно отметить, что «Россети Кубань» активно инвестирует в модернизацию своей инфраструктуры, внедрение цифровых технологий.

На основании проведенных выше данных можно сделать вывод, что компания демонстрирует стабильное финансовое состояние, а полученные коэффициенты рентабельности имеют положительную динамику. Это дает возможность компании поддерживать ликвидность и выполнять свои обязательства перед заинтересованными сторонами.

ПАО «Россети Кубань» демонстрирует устойчивое финансовое положение и активное развитие, что позволяет ей уверенно выполнять свою ключевую задачу — обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения Краснодарского края.

Литература

1. Официальный сайт компании ПАО «Россети Кубань» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://rosseti-kuban.ru/aktsioneram-i-investoram/raskrytie-informatsii/finansovaya-informatsiya-i-otchetnost/otchetnost-rsbu/>
2. Т.Ю. Кудрявцева, Ю.А. Дуболазова Финансовый анализ. 2024.

*А.В. Сеница, студ. ;
рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВКЛЮЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В МАКРОЭКОНОМИЧЕСКУЮ ПОЛИТИКУ РОССИИ

В настоящее время основной задачей для современного мира является преодоление нехватки природных ресурсов при производстве товаров, услуг и общественных благ. Экономическая политика в большей степени ориентирована на исследование взаимодействий основных макроэкономических показателей и традиционных факторов производства, таких как труд и капитал, в то время как меньшее внимание уделяется использованию природных ресурсов.

Для современной экономики России нерациональное использование природных ресурсов является фактором, оказывающим непосредственное и достаточно сильное влияние на уровень экономической безопасности государства [1]. Согласно положениям Стратегии экономической безопасности до 2030 года истощение ресурсной базы топливно-сырьевых отраслей рассматривают в том числе и с позиции угрозы экономической безопасности России. Данный тезис обосновывают высоким уровнем сырьевой зависимости российской экономики и относительно высокой долей теневой деятельности в сфере добычи полезных ископаемых [2].

Целью работы является определение степени влияния экологического фактора на макроэкономическую политику России и ее стратегическое планирование. В рамках работы будут рассмотрены основные аспекты природного капитала и проведена статическая оценка факторов роста ВВП. Для этого будет рассчитан коэффициент парной корреляции, определена сила связи между значениями ВВП РФ и основными значениями стоимостных характеристик естественных богатств, стоимости их добычи и работ по сохранению и поддержанию экосистемы нашей страны.

Литература

1. **Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683** «О стратегии национальной безопасности российской федерации» [электронный ресурс] / Консультант.Плюс (URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_191669/, дата обращения 29.10.2024).
2. **Указ Президента РФ от 13.05.2017 № 208** «О стратегии экономической безопасности российской федерации на период до 2030 года» [электронный ресурс] / Консультант.Плюс (URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_216629/, дата обращения 29.10.2024).

Д.Х. Каранфил, асп.;
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ КАК ДРАЙВЕР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

В условиях стремительного технологического прогресса современная экономика сталкивается с рядом серьезных вызовов, связанных с необходимостью оперативного реагирования на изменения, вызванные цифровизацией, внедрением новых технологий. Усиление инновационной составляющей становится ключевым фактором, позволяющим адаптироваться к этим изменениям, способствовать созданию конкурентных преимуществ и обеспечивать долгосрочное экономическое развитие [1].

В этих обстоятельствах интеллектуальный капитал (ИК) становится стратегически важным ресурсом. Анализ и развитие ИК позволяет не только своевременно приспособиться к быстро меняющимся условиям, но и заложить основу для создания инновационной среды, способствующей дальнейшему устойчивому развитию.

Для достижения этих целей необходим расширительный подход к управлению ИК, не ограничивающийся традиционным пониманием его как совокупности нематериальных активов и НИОКР. Вместе с тем следует отметить, что объем затрат на НИОКР постепенно увеличивается, прежде всего в базовых отраслях экономики (см. табл. 1). Т.е. растет размер и значимость ИК в рамках традиционного подхода.

Таблица 1. Затраты на НИОКР ТЭК, млн. руб. (составлено автором по данным федеральной службы государственной статистики)

Отрасль	2021	2022	2023
ТЭК	180 466	180 730	225 686

Однако традиционный подход приводит к сужению понимания ИК, который не учитывает его многогранность и ограничивает его потенциал как стратегического ресурса, включающего человеческий, структурный, клиентский и инновационный капитал

Современный подход к анализу и управлению ИК должен учитывать его многокомпонентность, уделяя особое внимание развитию инновационного капитала. Это способствует улучшению инновационного климата, повышает конкурентоспособность как отдельных компаний, так и отраслей в целом.

Литература

1. **Недолужко, О.В.** Формирование и развитие интеллектуального капитала в цифровой экономике: монография / О.В. Недолужко; Владивостокский государственный университет. — Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2024. — 198 с.

А.А. Белова, студ.; рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., проф. (НИУ МЭИ)

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Инновационный потенциал представляет собой ключевой элемент инновационной активности субъектов хозяйствования, отражая способность экономических систем к эволюции и развитию. Он включает в себя совокупность ресурсов, знаний и технологий, которые определяют возможность предприятий осуществлять инновации.

Развитие инновационного потенциала компаний становится ключевым фактором, способствующим эффективному функционированию, росту и долгосрочной устойчивости в условиях современной экономики.

В таблице 1 отражены значения показателя уровня инновационной активности российских организаций за период 2020–2023 гг. [1].

Таблица 1. Уровень инновационной активности компаний

Вид деятельности	2020	2021	2022	2023
Всего	16,7	16,8	15,2	15,0
Промышленное производство	16,2	17,4	15,6	16,9
Из них:				
Добыча полезных ископаемых	6,8	7,8	7,1	7,2
Обеспечение э/э, газом, паром	9,9	9,0	8,1	7,8

К 2020 году предприятия ТЭК адаптировались к новым экономическим изменениям, что способствовало росту их экономической активности. Однако с 2022 года глобальные экономические вызовы, включая геополитическую напряженность и нехватку ресурсов, привели к вынужденным ограничениям инвестиций. Компании столкнулись с растущими издержками и проблемами в цепочках поставок, что значительно осложнило реализацию инновационных инициатив.

В связи с существующими препятствиями для использования инновационных возможностей в сфере ТЭК, возрастает значение государственной политики, ориентированной на поддержку инновационной активности в ключевых для российской экономики отраслях. Это позволит предприятиям более эффективно конкурировать и адаптироваться к изменениям на рынке.

Инновационный потенциал становится не просто дополнительным преимуществом, а необходимым условием для выживания и процветания на рынке в условиях быстрого технологического прогресса.

Литература

1. Технологическое развитие отраслей экономики. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения 13.11.2024).

Ю.М. Вовк, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, старш. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ШКОЛЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В условиях стремительного развития информационных технологий и растущей конкуренции на рынке частных образовательных услуг, организации должны активно внедрять цифровые технологии для повышения своей конкурентоспособности.

В условиях цифровизации на конкурентоспособность могут влиять следующие факторы: технологические инновации, анализ данных, цифровые навыки сотрудников, клиентоориентированность [1].

Объектом исследования является школа программирования для детей, которая внедрила технологические инновации в обучение. Например, организация проводит бесплатные пробные занятия. На пробных уроках используются интерактивные игры, разработанные преподавателем организации в 2021 году, в качестве демонстрации преимуществ данной школы программирования в сравнении с конкурентами.

В процессе выполненной работы был проведен анализ изменения количества принятых положительных решений об обучении на пробном занятии после внедрения интерактивных игр в образовательный процесс. В качестве отчетного периода рассмотрим 2020 и 2021 год, результаты представлены в таблица 1.

Таблица 1. Приход резидентов за отчетный период

	2020	2021
Использование интерактивной доски	нет	да
Приход резидентов после проведения пробного занятия	+ 800 человек	+ 1200 человек

Таким образом, при оценке прихода резидентов за отчетный период выявлено, что в 2021 году данный показатель увеличился в 1,5 раза. Можно сделать вывод, что использование интерактивных игр на пробных занятиях положительно влияет на повышение конкурентоспособности школы программирования.

Литература

1. Интеграция образования, науки и бизнеса в условиях цифровой трансформации // psyjournals.ru URL: https://psyjournals.ru/nonserialpublications/dhte2023/contents/dhte2023_Morozova.pdf (дата обращения: 24.10.24).

Н.Б. Гулиева, студ.; рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ МЭИ)

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ООО «ТОРГОВЫЙ ДОМ «ВЛВ»

Изучение методов повышения конкурентоспособности предприятий в условиях санкций является актуальным на данный момент, так как предприятия должны оперативно реагировать на рыночные изменения, а также санкционные меры вынуждают компании искать альтернативы западному сырью и материалам.

В следствие угрозы санкций в будущем у компании ООО «Торговый Дом «ВЛВ» есть риск снижения конкурентоспособности, в связи с чем необходимо будет провести ряд мероприятий для ее повышения и увеличения доходности. Повышение конкурентоспособности производства украшений в условиях санкций требует комплексного подхода, учитывающего ограничения в доступе к ресурсам и новые рыночные реалии.

В результате анализа выявлены мероприятия, необходимые к реализации:

1. Обеспечение бесперебойности производства (поиск альтернативных поставщиков сырья и комплектующих, в том числе из дружественных стран, изучение возможности использования заменителей материалов, максимальное использование местных ресурсов и производителей, создание запасов ключевых материалов на случай перебоев с поставками, поиск более эффективных и ресурсосберегающих технологий, минимизация отходов);
2. Повышение качества и уникальности продукции (создание уникальных дизайнов, которые выделяют продукцию на фоне конкурентов, использование местных, экологически чистых или редких материалов, чтобы подчеркнуть оригинальность, привлечение талантливых мастеров);
3. Расширение рынков сбыта (онлайн-продажи на международных платформах, повышение лояльности постоянных клиентов, сотрудничество с дизайнерами и инфлюенсерами);
4. Управление затратами и финансами (оптимизация затрат, поиск источников финансирования, разработка стратегии управления рисками, связанными с санкциями и нестабильностью рынка);
5. Маркетинг и продвижение (создание высококачественного контента, который рассказывает историю бренда и привлекает внимание целевой аудитории).

Все эти мероприятия должны быть реализованы с учетом специфики рынка украшений и финансовых возможностей предприятия.

*Т.С. Абсаямова, Е.С. Корявченков, студенты;
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп.*

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Цель исследования — выявление возможностей и преимуществ внедрения цифровых двойников в производство, объектом является сама цифровая технология, а под предметом понимаются методы и подходы, необходимые для создания и применения цифровых двойников.

Цифровой двойник (англ. Digital Twin) — цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность производства и бизнеса. Его концепция является частью четвёртой промышленной революции и призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты.

В процессе анализа выявлено, что в условиях глобальной конкуренции и стремительного технологического прогресса цифровые двойники становятся ключевым инструментом, позволяя оперативно реагировать на изменения и минимизировать риски, связанные с человеческим фактором и непредвиденными обстоятельствами. Однако их реализация сталкивается с рядом вызовов, которые включают высокие требования к квалификации персонала, необходимость интеграции действующих информационных систем, высокие капиталовложения, а также обеспечение безопасности данных и защиты конфиденциальности личной информации. Кроме того, следует выработать единые принципы государственного регулирования использования цифровых двойников, которые не только способствуют развитию технологий и услуг, но и защищают права и законные интересы граждан.

В результате исследования авторами определено, что предприятия, внедрившие цифровые двойники, отмечают значительное снижение затрат на обслуживание, увеличение производительности на 20–30%, а также сокращение времени на вывод новых продуктов на рынок. Использование цифровых двойников не только оптимизирует текущие процессы, но и создает условия для устойчивого роста и увеличения инновационного развития компаний в условиях меняющейся экономики.

Литература

1. **Прохоров А., Лысачев М.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров., М. Лысачев // 2020.

В.С. Башарин, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ПАО «ПРОМСВЯЗЬБАНК»

В нынешних условиях изменчивости ключевой ставки ЦБ в России оценка конкурентоспособности на рынке коммерческих банковских услуг имеет особенную актуальность. От результатов анализа, а также от правильности выбора направлений повышения конкурентоспособности будет зависеть успешность организации и её положение на рынке.

Объектом исследования выбрана компания ПАО «Промсвязьбанк», входящая в перечень системно значимых кредитных организаций РФ [1]. В результате сравнения количественно измеримых показателей, методом балльной оценки построен радар конкурентоспособности (рис. 1).

В заключение можно сделать вывод о необходимости проведения мероприятий по повышению конкурентоспособности анализируемой компанией. В частности, акцент необходимо сделать на работе с клиентами, повысив активность в социальных сетях, а также расширить ассортимент услуг — увеличить количество и вариативность вкладов и кредитов.



Рис. 1. Радар конкурентоспособности

Литература

1. Банк России [Электронный ресурс], URL: https://www.cbr.ru/banking_sector/credit/systembanks.html/ (дата обращения 24.11.24).

А.С. Арнольдова, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» В РЕГИОНАХ С ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ

Территориально отдаленные регионы России характеризуются отсутствием или ограниченным доступом к централизованным электросетям. В таких регионах полагаются на дизельные электростанции для обеспечения электроснабжения. В ходе анализа выявлено, что дизельное электроснабжение, как правило, дороже центрального, что связано с высокой стоимостью дизельного топлива и трудностями с доставкой топлива в отдаленные районы. Также стоит отметить экологический ущерб от дизельных электростанций из-за выбросов в атмосферу вредных веществ.

«Умный дом» представляет собой автоматизированную систему управления устройствами и приборами в доме, которые объединены в единую экосистему. Такая технология позволяет оптимизировать работу отопительных и охлаждающих приборов, управлять освещением с помощью датчиков движения и яркости, а также повысить безопасность с помощью датчиков дыма и утечки воды.

Помимо повышения комфорта и безопасности, система «Умный дом» может предоставить экономически выгодное решение для снижения эксплуатационных расходов за счет оптимизации энергопотребления, а также увеличения срока службы дизельного генератора. Анализ экономической эффективности внедрения системы «Умный дом» включает в себя показатели, учитывающие стоимость установки и обслуживания системы, экономию расходов на электроснабжение и дизельное топливо.

В результате проведенного анализа было выявлено, что внедрение системы «Умный дом» в регионах с децентрализованным электроснабжением является экономически обоснованным решением, позволяя снизить расходы на дизельное топливо и электроэнергию в среднем на 10-30%, а также улучшить экологическую обстановку.

Литература

1. Смолин А.Е. Интернет вещей, умный дом и умные города // Эпоха науки. 2021. № 25.
2. Водянова С.А. Пупенцова С.В. Пупенцова В.В. Механизмы развития и внедрения технологии «умный дом» // Инновации. 2018. № 7 (237).

А.Н. Вавилов, студ.; рук. Е.В. Сухарева (НИУ «МЭИ»)

МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА С УЧЕТОМ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В условиях стремительно возрастающей роли цифровых ресурсов в повседневной жизни и деятельности предприятий, механизм стимулирования энергетического перехода с учетом сквозных цифровых технологий становится важным аспектом в масштабах деятельности Российской Федерации внутри страны и за ее пределами согласно указу Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Использование цифровых ресурсов дает возможность принимать своевременные и экономически целесообразные решения по управлению производством и предприятием в целом, что позволит значительно снизить себестоимость и оптимизировать процесс производства.

Разработка механизма стимулирования энергетического перехода с учетом сквозных цифровых технологий для эффективной и бесперебойной работы энергетического комплекса, играет ключевую роль в обеспечении устойчивости данного процесса. Предложенный механизм поможет оптимизировать работу предприятия, позволит значительно увеличить качество и надежность энергоснабжения, существенно снизить издержки производства.

Объектом данной работы являются энергетические предприятия РФ.

Предметом исследования являются механизмы устойчивого развития энергетических предприятий РФ в условиях цифровизации.

Целью исследования является разработка механизма стимулирования энергетического перехода с учетом сквозных цифровых технологий, позволяющий оптимизировать работу предприятий энергетического комплекса и максимизировать экономический эффект.

В результате можно отметить, что разработка механизма представляет собой серьезный шаг к созданию эффективной и устойчивой энергетической системы. Механизм содержит в себе как кардинально новые решения, так и модернизированные (совершенствованные) разработанные ранее положения. Исходя из этого, получилось проследить возможный эффект от внедрения механизма в деятельность предприятий.

Литература

1. **Энергетический переход.** [Электронный ресурс]. Энергетическая политика. URL: <https://energypolicy.ru/energeticheskij-perehod-s-inzhenernoj-tochki-zreniya/energoperehod/2024/11/29/>

Е.А. Филина, асп.; рук. Т.А. Шиндина, д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ САНКЦИЙ НА ИННОВАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ В СТРАНЕ

Актуальность работы обусловлена текущей геополитической и экономической обстановкой, вызванной беспрецедентными санкционными ограничениями против России. Количество санкций превышает 22 тысячи. Особое значение имеют санкции, направленные на снижение инновационной и научной активности, а также уменьшение экономических и технологических показателей суверенитета страны. 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 [1]. Предметом исследования являются санкции. Цель исследования — выявить последствия влияния введенных ограничений на инновационную активность в стране. В работе представлены статистическая информация по действующим санкциям, разработана классификация санкционных ограничений, а также проведен анализ динамики основных показателей инновационной и научной активности в период с 2019 по 2013 годы.

В результате проведенных исследований выявлена положительная динамика по многим показателям научной и инновационной деятельности в России. Тем не менее наблюдается устойчивое сокращение показателей «количество организаций, выполняющих научные исследования и разработки» и «удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе обследованных организаций» Подобные учреждения являются базой для исследований и внедрения инноваций, направленных на укрепление технологического суверенитета страны. Снижение их количества в перспективе может оказать негативное влияние на инновационную активность в целом.

Стимулирование и развитие инновационной деятельности напрямую зависит от политики органов власти. Вопрос разработки эффективной государственной поддержки отрасли науки и инновационной деятельности является важнейшим в формировании эффективной стратегии развития технологического суверенитета и экономики страны.

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. Гетто, студ. (НИУ «МЭИ»); А.А. Воробьев, студ. (НИЯУ «МИФИ»);
рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ФАКТОРНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ИЗОЛИРОВАННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЙОНА

Изолированные энергетические районы сталкиваются с экономическими и экологическими вызовами, включая ограниченность ресурсов, высокие издержки на энергоснабжение и демографические изменения. Это обуславливает необходимость разработки интегрированных экономических моделей, которые учитывают факторы, влияющие на устойчивое развитие региона.

Автором была разработана факторная экономическая модель для оценки устойчивости и прогнозирования развития изолированных энергетических районов, которая ориентирована на ключевые детерминанты валового регионального продукта (ВРП), включая инфляцию, мировые экономические тренды, доступность ресурсов и структуру генерации энергии. В основу модели положен регрессионный анализ, позволяющий количественно оценить влияние различных факторов на ВРП.

При проведении исследования были использованы данные за 2020–2024 гг., что обеспечивает временной анализ и прогнозирование с учетом изменений в экономической и энергетической политике. Схема модели включает следующие этапы: сбор и ввод исходных данных, анализ факторов, построение сценариев, расчет эффективности и оптимизация. На первом этапе вводятся экономические и социальные показатели, такие как инфляция, миграция, доступность ресурсов и тип генерации энергии. На втором этапе производится оценка влияния факторов на целевые индикаторы с помощью линейной регрессии, что позволяет оптимизировать управление ресурсами. Третий этап направлен на формирование сценариев с варьированием значений факторов для возможных изменений внешней среды. Далее рассчитывается показатель общего эффекта $E_{\text{общ}}$, отражающий совокупное влияние факторов. На заключительном этапе выбирается сценарий с максимальным $E_{\text{общ}}$, обеспечивающий устойчивое развитие и эффективность.

Разработанная схема позволит более качественно оценить принимаемые решения, направленные на повышение эффективности управления, минимизации рисков при долгосрочном планировании развития изолированных энергетических районов.

Литература

1. Методы эконометрического анализа: учебное пособие / Под ред. И.И. Иванова. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Москва: Издательство МГИМО, 2021. — 356 с.

*Л.Т. Казарян, В.А. Кочарян, студенты;
Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РОЛЬ АУДИТА ПОСТАВЩИКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

В условиях жёсткой рыночной конкуренции обеспечение качества продукции становится ключевым фактором для устойчивого развития компаний. Аудит поставщиков представляет собой стратегический инструмент, позволяющий производителям контролировать производственные процессы и снижать риски несоответствий на всех этапах цепочки поставок. Однако отсутствие прозрачности, несогласованность стандартов и слабое взаимодействие с поставщиками делают актуальной оптимизацию подходов к аудиту.

Цель исследования: анализ роли аудита поставщиков и разработка мер по повышению его эффективности для обеспечения стабильного качества продукции и снижения рисков в цепочке поставок.

В ходе работы авторы проанализировали проблемы и аспекты аудита поставщиков и предложили конкретные решения:

- обеспечение прослеживаемости и устранение отклонений. Аудит даёт полную видимость процессов поставщика, позволяя оперативно выявлять и устранять несоответствия, что снижает задержки и количество дефектов продукции;
- снижение затрат на несоответствия. Работа с неэффективными поставщиками и оптимизация аудиторских процедур позволяют снизить стоимость низкого качества (COPQ);
- повышение прозрачности и сотрудничества. Выстраивание открытых коммуникаций и единых стандартов качества способствует улучшению взаимодействия с поставщиками.

Аудит поставщиков позволяет повысить качество продукции за счёт выявления слабых мест и управления рисками, оптимизация взаимодействия с поставщиками и стандартизация аудиторских процедур снижают затраты и минимизируют риски несоответствий. Аудит играет стратегическую роль в укреплении конкурентоспособности компании и выстраивании долгосрочных партнёрских отношений на рынке.

Таким образом, аудит поставщика не только способствует контролю качества, но и является инструментом для повышения эффективности бизнес-процессов, обеспечивая устойчивое развитие и укрепление рыночных позиций компании.

Литература

1. Янушевская М., Лариошина И.А. Аудит качества // Томск: Лань, 2021. — 120 с.

*Л.Т. Казарян, В.А. Кочарян, студенты;
Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ АУДИТА ПОСТАВЩИКА В МАЛОМ И СРЕДНЕМ БИЗНЕСЕ

В условиях роста малого и среднего бизнеса (МСБ) стабильность цепочки поставок играет ключевую роль для успешного функционирования компаний. Однако проведение аудита поставщиков часто осложняется ограниченными ресурсами, недостатком квалифицированных специалистов и сопротивлением поставщиков. Эти факторы могут привести к ошибочным коммерческим решениям и снижению качества поставок, что делает проблему актуальной для устойчивого развития бизнеса.

Цель исследования: оптимизация процедур аудита поставщиков для повышения эффективности управления цепочками поставок в малом и среднем бизнесе.

Автором был проведён анализ проблем аудита поставщиков в МСБ и предложены конкретные решения:

- оптимизация аудиторских процедур через применение риск-ориентированного подхода. Например, в ситуации с 10 поставщиками, из которых 3 обеспечивают 80% поставок (принцип Парето), фокусировка на ключевых поставщиках позволяет снизить затраты на аудит на 40%;
- разработка системы мотивации поставщиков. Введение рейтинговой системы, снижающей оценки поставщикам, отказывающимся от аудита, стимулирует их к сотрудничеству и повышает прозрачность работы.

Применение риск-ориентированного подхода позволяет компаниям сосредотачивать ресурсы на наиболее значимых поставщиках, оптимизируя затраты, разработка системы управления отказами поставщиков способствует повышению их вовлечённости и снижению рисков некачественных поставок. Баланс между оптимизацией затрат, профессионализмом аудиторских процедур и доверием к поставщикам обеспечивает устойчивое развитие МСБ.

Предложенные решения позволяют малому и среднему бизнесу минимизировать риски и эффективно управлять цепочкой поставок, что способствует долгосрочному росту и стабильности.

Литература

1. **Байда Е.А.** Система менеджмента качества и аудит качества // Омск: Лань, 2023. — 340 с.

Секция 31

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Industrial economics

Председатель секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна

Секретарь секции: к.т.н. Коломиец Юлия Георгиевна

П.А. Сиренко, студ.; рук. А.Ю. Амелина, доцент (НИУ МЭИ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАТРАТ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ ООО «АЛЬЯНССПЕЦСТРОЙ»

Планирование затрат помогает строительным компаниям эффективно управлять финансовыми ресурсами и достигать целей проектов, в том числе позволяет оптимизировать бюджет, избежать перерасхода, установить конкурентоспособные цены на услуги и привлечь потенциальных инвесторов и надёжных партнёров. Важно тщательно оценить все имеющиеся расходы, связанные со строительством, включая материалы, трудовые ресурсы, оборудование, услуги подрядчиков и прочие затраты.

Объектом исследования является строительная компания ООО «Альянс СпецСтрой», основанная в 2012 году. Эта компания предлагает услуги по проектированию и монтажу инженерных сетей в Москве и в Московской области, а также по неразрушающему и разрушающему контролю сварных соединений, трубопроводов и несущих частей зданий гражданского назначения и производственной инфраструктуры. На сегодняшний момент является одной из успешных компаний в сфере строительства и проектирования [1].

В работе предложены мероприятия по созданию калькуляций на единицу услуг, оказываемых компанией на внешнем рынке, которые позволяют усовершенствовать планирование затрат, выбранного объекта исследования, с целью повышения его эффективности и экономической устойчивости. Данные калькуляции применимы для разработки бюджета доходов и расходов на этапе планирования строительного объекта, конкретно разработкой данного бюджета занимается плановое экономическое управление компании.

На основе разработанных калькуляций в работе скорректированы показатели процентов по накладным расходам, а также затраты на административно-управленческий персонал с учётом изменения внешних факторов, рассчитаны показатели рентабельности, проведённый планово-факторный анализ показал, что компания имеет эффективное использование ресурсов и не нуждается в реорганизации существующей системы учёта затрат.

Литература

1. Официальный сайт АльянсСпецСтрой [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://aliansspetsstroy.ru/>

*М.А. Власенкова, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИЙ В РАСШИРЕНИЕ АССОРТИМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ФОНДИТАЛЬ»

Современным покупателем важна не только функциональность, но и эстетические качества отопительных приборов, что делает интерьерные радиаторы более привлекательными. Кроме того, увеличение числа производителей интерьерных радиаторов создаёт необходимость для предприятия ООО «Фондиталь» адаптироваться и расширить ассортимент.

В ходе работы была осуществлена оценка возможностей предприятия ООО «Фондиталь» (первый мировой производитель алюминиевых радиаторов, расположен на территории ОЭЗ «Липецк») для внедрения нового продукта без значительных затрат на модернизацию и без привлечения заёмных средств. Также проведён анализ технологического процесса и особенностей конструкции изделий предприятий-лидеров на данном товарном рынке (по производству интерьерных радиаторов).

По результатам исследования принято решение о расширении предприятия: аренде дополнительного производственного помещения, установке нового автоматизированного оборудования, которое обеспечит быструю скорость и высокое качество выпускаемых интерьерных радиаторов.

Установленная технологическая линия позволит производить радиаторы разной формы, размера, цвета. А так как оборудование универсальное, есть возможность принимать индивидуальные заказы с уникальным дизайном.

Проведённые расчеты показали, что производство интерьерных радиаторов может значительно увеличить объём продаж и, соответственно, прибыль предприятия за счет расширения клиентской базы. Рекомендуется начать с малосерийного производства для тестирования рынка и сбора отзывов от потребителей. В долгосрочной перспективе успешная реализация проекта может привести к укреплению позиций компании ООО «Фондиталь» на рынке отопительных приборов и созданию устойчивого конкурентного преимущества. Это позволяет сделать вывод, что инвестиции в производство интерьерных радиаторов отопления на рассматриваемом предприятии эффективны.

Литература

1. **Е.Е. Петрова, С.В. Арапов, Т.В. Бикезина.** Инвестиционный анализ. СПб.: РГГМУ, 2021.
2. **ООО «Фондиталь»** [Электронный ресурс] / URL: <https://www.fondital.ru/ru/ru/>

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ VI-СИСТЕМ В СОВРЕМЕННОМ БИЗНЕСЕ

В условиях экспоненциального роста объема данных в современном бизнесе традиционные методы анализа информации становятся неэффективными. Компании нуждаются в более совершенных инструментах для принятия решений, и VI-системы (Business Intelligence) становятся ключевыми в этом процессе. VI-системы позволяют не только обрабатывать данные, но и визуализировать их для эффективного использования.

Целью исследования является выявление достоинств и недостатков VI-систем. Для этого автором был проведен сравнительный анализ VI-систем, включающий изучение их функциональных возможностей и применимости в реальных бизнес-процессах.

Результаты анализа показывают, что VI-системы предоставляют компаниям инструменты для интеграции данных из различных источников: внутренние базы данных, CRM, ERP-системы, внешние источники. Они позволяют анализировать большие объемы данных и создавать отчеты, которые помогают пользователям быстро визуализировать сложную информацию. VI-системы также поддерживают прогнозирование, анализ тенденций и моделирование сценариев, что особенно важно для компаний.

Исследование показало, что автоматизация рутинных процессов обработки данных посредством VI-систем сокращает время на анализ и снижает вероятность возникновения ошибок. Эти системы обеспечивают доступ к актуальной информации в реальном времени. Более того, хранение и обработка данных внутри VI повышают надежность и точность выводов, помогая бизнесу более эффективно управлять своими ресурсами и стратегиями.

Несмотря на преимущества, внедрение VI-систем связано высокими первоначальными затратами на установку систем, покупку лицензий и обучение. Качество анализа напрямую зависит от качества исходных данных, и некорректные данные могут привести к ошибочным выводам. Интеграция VI с существующими IT-системами может вызвать сложности.

В рамках исследования были выявлены перспективы развития VI-систем: интеграция с искусственным интеллектом и развитие self-service BI.

Автором было установлено, что стартовые затраты на внедрение VI-системы составляют до одного миллиона рублей. При этом снижение операционных расходов составляет порядка ста тысяч рублей в месяц. Таким образом, период окупаемости инвестиций составляет менее года, после чего внедрение приносит выгоду.

Ю.В. Неганова, студ.; рук. Е.И. Рукина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Актуальность темы заключается в необходимости повышения эффективности производства и снижения издержек за счет внедрения цифровых технологий.

Цифровые решения для промышленных и энергетических предприятий со сложными производственными процессами и высокими энергозатратами позволяют оптимизировать управление ресурсами и процессами, обеспечивая их устойчивое развитие.

Наряду с другими компаниями в России АО «ЭНЕРГОПРОЕКТ» занимается разработками цифровых решений. Данной компанией была разработана ИС «ENPRO OPTIMO» — универсальная автоматизированная облачная среда для подготовки технико-коммерческих предложений на поставку распределительных комплексных устройств [1]. Преимуществами данной системы являются: быстрый старт, сокращение времени обработки заявки, исключение технических ошибок, интеграция со сторонними системами через API, прозрачность процесса взаимодействия, экономия ФОТ, что позволяет повысить производственную, финансовую и экономическую эффективность.

Целью настоящей работы является анализ эффективности внедрения ИС «ENPRO OPTIMO». Автор изучил этапы создания и внедрения данной системы, рассчитал затраты на каждом этапе, предложил дополнения для уменьшения затрат на этапах создания и внедрения информационной системы. На основе анализа был сделан вывод о существенном экономическом эффекте от внедрения цифровой технологии, таблица 1.

Таблица 1. Эффект от внедрения цифровой технологии

Показатели	До внедрения	С внедрением ENPRO OPTIMO
Трудовые затраты по подготовке одного ТКП, (человеко-час)	12	1,5
Качество подготовки ТКП	85%	100%

Полученные результаты представляют практический интерес для промышленных и энергетических предприятий для оптимизации затрат и повышения конкурентоспособности за счет внедрения цифровых технологий.

Литература

1. **Электронный ресурс:** о компании АО «ЭНЕРГОПРОЕКТ» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://энергопроект.su/>

М.И. Трефилова, студ.;
рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ КОМПАНИЙ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Отрасль энергомашиностроения, являясь фундаментом для развития топливно-энергетического комплекса, имеет существенное отставание в области цифровизации производства.

Правительством Российской Федерации принято множество стратегических документов, утверждены более 60 ведомственных программ цифровой трансформации, позволяющие проводить межотраслевое сравнение уровня распространения цифровых технологий. Однако, для успешного развития энергомашиностроения, необходимо прямое воздействие на конкретных представителей отрасли.

Проведен сравнительный анализ компаний отечественного и зарубежного энергомашиностроения на предмет применения цифровых технологий, также рассмотрены различные модели и показатели оценки цифровой зрелости компаний:

- индекс цифровой трансформации, разработанный аналитическим агентством Arthur D. Little;
- модель оценки цифровых способностей компании KPMG;
- модель цифровой зрелости компании Deloitte [1].

На основании проведенного анализа было выявлено, что существующие подходы к определению уровня цифровизации компаний имеют в большей степени общую оценку, то есть не учитывают отраслевую специфику предприятий и особенности технологического производства.

Исследование посвящено разработке модели оценки цифровой зрелости отдельных предприятий энергомашиностроения, которая послужит инструментом для сопоставления достигнутого уровня цифровизации с целевым, формированию стратегий развития и повышению конкурентоспособности национальных производителей.

Систематическое отслеживание цифровой зрелости создает основу для устойчивого развития отраслевого сегмента, что позволяет формировать условия для повышения кооперации между отечественными предприятиями, стимулировать интеграцию российских производителей в мировые цепочки поставок и поддерживать экспорт промышленной продукции.

Литература

1. **Гилева, Т.А.** Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления / Т.А. Гилева // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. — 2019. — № 1(27). — С. 38–52.

*А.Р. Калинина, студ.;
рук. Е.В. Сухарева, проф., д.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Энергетические рынки во всем мире становятся все более динамичными и сложными, что требует точных методов прогнозирования цен. В таких условиях традиционные методы прогнозирования цен на электроэнергию, как правило, оказываются недостаточно точными, особенно в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Переход на цифровую энергетику требует более точных инструментов для прогнозирования, например, нейронных сетей [1].

Объектом исследования является рынок электроэнергии, включая его ценовые механизмы, структуру спроса и предложения. Предмет исследования — методы прогнозирования цен на электроэнергию с использованием нейронных сетей.

Цель работы — разработка и тестирование модели прогнозирования цен на электроэнергию на основе LSTM, которая будет способна предсказывать ценовые изменения как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе с высокой степенью точности.

Теоретическая основа исследования базируется на трудах отечественных и зарубежных авторов по анализу временных рядов, машинному обучению и прогнозированию на энергорынках. Методы исследования включают системный подход, экономико-математическое моделирование, нейронные сети и статистическую обработку данных в Microsoft Excel. Для визуализации результатов применялись инструменты графического анализа.

Теоретическая значимость работы заключается в улучшении методов прогнозирования цен на электроэнергию через применение нейронной сети LSTM. Модель учитывает сезонные колебания и внешние факторы, что делает её применимой для реальных бизнес-процессов.

Предложенная прогнозная модель на основе нейронных сетей может быть применена для прогнозирования почасовой динамики индекса цен РСВ первой ценовой зоны ОРЭМ с достаточно высокой степенью точности в условиях волатильности и неопределенности в разные сезоны года.

Результаты данного исследования пригодны для использования участниками рынка электрической энергии для управления рисками, планирования своих операций и повышения экономической эффективности.

Литература

1. **Барина В.А., Девятова А.А., Ломов Д.Ю.** Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике // Вестник международных организаций. 2021. Т. 16. № 4. С. 126–145.

А.А. Степанюк, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ МЭИ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА РИСКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежности и устойчивости энергетических систем в условиях стохастической среды. Обусловлено это перманентно растущими потребностями в электроэнергии и изменениями в структуре потребления. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), глобальный спрос на электроэнергетические ресурсы ожидается на уровне 24 000 ТВт*ч к 2040 году, что на 30% выше уровня 2020 года [1]. В России по данным Министерства энергетики, потребление электроэнергии в 2024 году составило около 1150 ТВт*ч, и ожидается его рост в будущем.

В связи с этим возникает необходимость развития эффективных механизмов регулирования энергосистем. Одним из направлений развития является использование механизма управления спросом на электроэнергию (мощность). При этом процесс его реализации содержит ряд операционных и финансовых рисков, нуждающихся в оценке. Целью исследования является улучшение существующей методики анализа рисков при управлении спросом на электроэнергию. Это позволит повысить точность прогнозирования потребления, учесть неопределённость и минимизировать риски, что, в свою очередь, обеспечит стабильность и устойчивость развития энергетических систем.

Методика анализа рисков под авторством Колосок И.Н. и Коркиной Е.С., применяемая в управлении спросом на электроэнергию, включает в себя построение дерева событий, с помощью которого прогнозируются дальнейшие варианты развития событий и принимаются управленческие решения по снижению выявленных рисков.

Применение системного подхода к анализу рисков, позволяет учитывать взаимодействие различных факторов, включая экономические, экологические и социальные аспекты, для достижения комплексных решений.

В результате проведенного исследования была доработана методика анализа рисков при управлении спросом, путем расширения перечня применяемых в методике коэффициентов и представлено описание их расчета и аналитической значимости. Данная доработка позволяет повысить точность прогнозирования спроса на оптовом рынке электроэнергии, что помогает выработать более эффективные стратегии управления рисками.

Литература

1. **International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2021.**

Д.Е. Романов, студ.; рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОЛУЧЕНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ИЗ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Актуальность правильной переработки использованных автомобильных шин обусловлена растущими объёмами отходов, необходимостью развития эффективных технологий переработки для получения вторичных материалов, а также экономической выгодой. Каждая шина состоит из множества материалов, включая резину, текстиль и металл, что создает сложности при переработке.

Переработка шин не только способствует уменьшению количества отходов на свалках, но и снижает потребность в первичных сырьевых материалах, что в свою очередь может создать новые рабочие места. Важно также учитывать, что современные технологии позволяют повышать качество получаемого вторичного сырья. Наиболее перспективным методом является измельчение и использование получаемой резиновой крошки в качестве вторичного сырья. Технология переработки в резиновую крошку позволяет извлекать ценные материалы из отходов и находить им широкое применение.

Направления применения резиновой крошки:

- Производство резинотехнических изделий: покрышки, коврики;
- Использование в дорожном строительстве: резиновые покрытия;
- Спортивные и детские площадки: безопасные и долговечные покрытия.

В результате проведенного анализа выявлены следующие эффекты от внедрения технологии глубокой переработки шин:

- Снижение затрат на сбор, транспортировку и захоронение изношенных шин;
- Создание новых рабочих мест в сфере переработки отходов;
- Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

Для решения проблемы утилизации отработанных шин необходимо внедрение эффективных технологий и инвестирование в новое оборудование. Это позволит безопасно перерабатывать отходы и получать экономическую выгоду за счет производства ценных материалов из вторичного сырья.

Литература

1. **Аксенов В.И., Хохлова Л.П.** Технология переработки изношенных автомобильных шин // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 28–33.
2. **Хасанов Р.Р., Изотов В.А.** Обзор технологий утилизации отработанных автомобильных шин // Экономика региона. 2014. № 1. С. 237–245.

П.О. Конюхова, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

В последние годы государство РФ взяло курс на развитие северных регионов России (1), которые на данный момент относятся к неценовым зонам оптового рынка электроэнергии и мощности. В таких регионах для электроснабжения потребителей используются локальные дизельные электростанции (ДЭС), техническое состояние которых не обеспечивает необходимого уровня эффективности электроснабжения, ввиду морального устаревания оборудования, а также высокого износа генераторов. Для решения проблемы надежности электроснабжения и экономической эффективности производства электроэнергии был предложен переход на дизельные электростанции нового поколения — автономные гибридные энергетические комплексы (АГЭК). АГЭК представляет собой цифровую электростанцию, совмещающую в себе современные дизельные генераторы, систему накопления энергии, фотоэлектрические модули и различные измерительные приборы. Все элементы системы связаны между собой АСУ ТП, с которой данные о параметрах станции выводятся для визуализации и анализа через цифровую систему SCADA, позволяющую не только проводить мониторинг станции в режиме реального времени, но и осуществлять управление отдельными элементами системы.

Объектом исследования являются автономные гибридные энергетические комплексы с цифровой SCADA-системой.

Предметом исследования выступает оценка экономической эффективности АГЭК на базе разработанного цифрового двойника.

В рамках работы проводится оценка экономической эффективности АГЭК по сравнению с традиционными дизельными электростанциями при помощи цифрового двойника станции, соавтором которого является автор работы. Согласно полученным с помощью модели данным, условный расход дизельного топлива (УРДТ) для определенной ДЭС составляет 0,433 кг/кВт*ч, в то время как для АГЭК той же мощности УРДТ равен 0,265 кг/кВт*ч, что говорит об экономии топлива в 1,65 раза. В ходе работы автором разработано описание математических зависимостей и принципов работы системы, лежащих в основе цифрового двойника, что представляет новизну исследования.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 26.01.2023 г. № 129-р об утверждении Стратегии социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 года — 44 с.

А.А. Корзан, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УМНОГО ГОРОДА В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Исследование рисков, связанных с интеграцией технологий умного города в региональные энергосистемы, приобретает всё большую актуальность в условиях стремительного развития технологий и необходимости их адаптации к существующей инфраструктуре.

Были проанализированы реальные кейсы внедрения цифровых технологий умного города в энергетику таких городов, как Барселона, Лондон, Сингапур и Амстердам.

По итогу анализа сделаны следующие выводы:

1. 30% всех сбоев и задержек при внедрении технологий в энергетике связаны с несовместимостью старых систем и новых цифровых решений.
2. Необходимость усиления мер кибербезопасности увеличивает расходы на этапе разработки и внедрения решений на 15–20% [1].
3. В 60% случаев проекты по цифровизации энергетических систем сталкиваются с трудностями возврата инвестиций.
4. Анализ текущего законодательства в разных странах показал, что в большинстве случаев регуляторная база недостаточно развита [2].
5. Не все слои населения имеют равный доступ к новым возможностям в 20% исследованных случаев.

На основании разработанной автором модели оценки рисков с использованием методов экспертного, вероятностного и статистического анализа была построена карта рисков (рисунок 1).

Важно отметить, что разработанная автором модель оценки рисков позволяет более точно прогнозировать потенциальные угрозы и разрабатывать эффективные стратегии их минимизации.



Рис. 1. Карта рисков

Литература

1. **Зубарев А.С.** «Кибербезопасность умных сетей: основные угрозы и подходы к их минимизации.» Энергетическая политика, 2021.
2. **Иванов В.А.** «Правовые аспекты цифровизации энергетики в условиях развития умных городов.» Журнал энергетического права и цифровизации, 2020.

*С.В. Зацепилова, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)*

МЕРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ В СФЕРЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Переход к индустрии 4.0 вызван быстрым развитием цифровых технологий (ЦТ). Все больше отраслей подвергается изменениям из-за развития искусственного интеллекта (ИИ).

Цель исследования — выявить взаимосвязь между государственной поддержкой и ускорением цифровизации. Для достижения цели, авторами были проанализированы различные источники информации, которые показали: компании для повышения конкурентоспособности используют в энергетике ЦТ на базе ИИ — машинное обучение и зрение, геоинформационные-технологии, промышленный интернет вещей, Big Data, облачные вычисления. Разработка и внедрение ЦТ — это затратные мероприятия, которые не все компании могут реализовать. В ходе анализа форм экономической поддержки в РФ выделены: льготы и субсидии компаниям-разработчикам для стимулирования процесса цифровизации. Субсидии могут получить компании, согласно требованиям в ПП РФ от 23.08.2021 № 1380 [1], поучаствовав в отборе из 3 этапов. На один проект максимальный ежегодный размер субсидии равен 500 млн. рублей. Авторы собрали и проанализировали данные о расходах, профинансированных РФ — заработная плата и страховые отчисления работникам, участвующим в разработке, накладные расходы; научно-исследовательские и конструкторские работы, технологические работы, выполняемые сторонней организацией. Итог анализа показал, что это способствовало развитию автоматизации. Льготы могут получить компании, закупающие/создающие продукты из реестров по радиоэлектронной продукции (РЭП) или ПО, по законам от 14.07.2022. № 323-ФЗ, №321-ФЗ. Льгота — учет первоначальной стоимости РЭП или ПО, если это ЦТ с ИИ, с повышающим коэффициентом 1,5. Расчеты авторов показали, что применение льготы снизит налогооблагаемую прибыль и позволит быстрее вернуть денежные средства с помощью амортизации основных средств и нематериальных активов.

В результате анализа, проведенного авторами, можно сказать, что количество компаний, получивших поддержку в рамках федерального проекта 'Искусственный интеллект', увеличилось с мая 2022 г. до 2024 г. на 675 шт. [2]. Это демонстрирует ускорение цифровизации в России.

Литература

1. Официальный сайт ГАРАНТ — [Электронный ресурс] — <https://base.garant.ru/402655612/>
2. Официальный сайт Единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства — получателей поддержки [Электронный ресурс] — <https://rmsp-pp.nalog.ru/statistics.html#formkind=0600&statdate=15.06.2024>

М.Д. Кузнецова, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАО «НК-РОСНЕФТЬ»

ПАО «НК-Роснефть» является одной из ведущих нефтяных компаний в России и занимает одну из главных позиций среди публичных нефтегазовых компаний в мире. Основной пакет акций принадлежит российскому государству через компанию «Роснефтегаз».

«Роснефть» активно участвует во всех сферах нефтегазового сектора, включая разведку, добычу, переработку и реализацию. Компания ведет свою деятельность как на территории России, так и за границей. Она значительно представлена в Российской Арктике и других регионах, богатых запасами нефти и газа.

Одним из приоритетных направлений инновационной деятельности НК «Роснефть» является разработка отечественных технологий и катализаторов для нефтепереработки и нефтехимии. Специалисты компании занимаются реализацией проектов по созданию и производству российских катализаторов нефтепереработки, а также разрабатывают новые процессы, направленные на увеличение глубины переработки сырья и давно работают над инновационными продуктами с уникальными характеристиками. [1]

Запланированные мероприятия в рамках проекта:

В сфере импортозамещения будет осуществлено создание катализаторов, соответствующих требованиям нового Технического регламента и позволяющих производить топливо класса Евро-5. Также ведется работа над современными носителями для катализаторов, среди которых цеолиты.

Также планируется разработка технологии получения добавок к бензинам и дизельным топливам, соответствующим пятому классу экологической безопасности. [2]

Принимая во внимание все вышеизложенные и рассмотренные факты, можно сделать вывод, что основной целью данной работы является экономическое обоснование данных инициатив, запланированных на 2027 год.

Литература

1. Официальный сайт Роснефть / [Электронный ресурс] // rosneft.ru: [сайт]. — URL: <https://www.rosneft.ru/>
2. ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» / [Электронный ресурс] // rosneft.ru: [сайт]. — URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/passport-proginfr.pdf

Е.А. Пехова, асп.;
рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., проф., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

На сегодняшний день вопрос интеллектуализации и рассмотрения цифровой трансформации электроэнергетики России является одним из актуальных. Применение искусственного интеллекта является ключевым показателем к переходу на следующий технологический уклад.

В рамках проведенного исследования было определено переходное состояние электроэнергетики России, где происходит активная цифровизация, но при этом уже развивается интеллектуализация, что говорит о зарождении нового технологического, энергетического и бизнес укладов. Основной предпосылкой изменения уклада является возникновение в процессе глобальной конкурентной борьбы новых потребностей участников процесса, которые не может удовлетворить существующий уклад [1]. Выполнив анализ каждого уклада и выявив их особенности, можно сделать вывод о том, что основа нового уклада зарождается в текущем, меняется социальная жизнь общества, появляются новые ценности и приоритеты, причем сам процесс перехода достаточно длительный. Поэтому в рамках работы была составлена концепция цифровой трансформации электроэнергетики, которая учитывает особенности перехода на шестой энергетический и бизнес уклады, где будут отражены нормативные документы, регулирующие развитие цифровизации, а также учтены изменения потребностей участников и новые возникшие взаимосвязи посредством использования искусственного интеллекта. Немаловажно включить в концепцию систему контуров (комплексный подход), которая отразит наиболее важные аспекты внедрения искусственного интеллекта в электроэнергетику.

Таким образом, проведя подробный анализ, а также предложив трактовку энергоукладов с раскрытием шестого энергетического уклада, можно сделать вывод о том, что интересы участников цифровизации и модель их взаимодействия изменятся. Новым этапом развития будет являться интеллектуализация, для достижения которой, была разработана новая концепция цифровой трансформации электроэнергетики, а также пересмотрены интересы участников цифровизации, с учетом особенностей перехода к новому бизнес-укладу. Полученные результаты позволяют в дальнейшем определить инструменты планирования цифровизации.

Литература

1. **Лозенко В.К.** Управление энергоэффективностью и устойчивое развитие организаций: экономика и управление народным хозяйством 2016. — 285 с.: ил., портр. табл.; 22 см.; ISBN 978-3-659-66625-4.

И.О. Лапин, студ.; рук. Е.М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГАЗОТУРБИННОГО ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

Совершенствование цифровых и информационных технологий позволяет существенно автоматизировать процессы производства и снизить затраты потребляемых ресурсов, тем самым, способствуя увеличению эффективности и надежности промышленных отраслей. Такая цифровая трансформация является неотъемлемой частью преобразования и энергетического сектора, критически важного компонента национальной безопасности. Наравне с другими цифровыми продуктами широкое распространение в энергетике получили CALS-технологии сопровождения жизненного цикла генерирующего оборудования [1]. Тем не менее, текущие вызовы российской энергетики, связанные с реализацией программы импортозамещения газовых турбин большой мощности, несколько меняют представление о ЖЦ энергоагрегатов, ведь при освоении инновационных установок иностранного производства первостепенной становится задача выбора перспективного прототипа ГТУ.

В рамках настоящей работы была исследована структура множества существующего газотурбинного оборудования и получено оригинальное разбиение газовых турбин большой мощности, обобщающее и конкретизирующее классификации мировых энергомашиностроительных конструкторов. В соответствии с выделенными кластерами была разработана цифровая модель отбора перспективного для освоения ГТУ большой мощности, основанная на анализе стоимостных и расходных характеристик энергоагрегатов различных классов [2]. По результатам исследования был сделан вывод о том, что в контексте реализации стратегии импортозамещения наиболее перспективными газовыми турбинами большой мощности являются установки класса F. Также был оценен экономический эффект от перехода с широко используемого в ЕЭС России газотурбинного оборудования типа E к ГТУ класса F на нескольких временных отрезках. Таким образом, было установлено, что за счет эксплуатации в 2025–2035 гг. более совершенной технологии генерации сумма сэкономленных средств составит 43,02 тыс. руб. в расчете на 1кВтч выработанной электроэнергии.

Литература

1. **Хитрых Д.О.** цифровой трансформации энергетической отрасли // Энергетическая политика. — 2021. — № 10 (164). — С. 76–89.
2. **Lisin E. et al.** Improving the methodology of main power equipment choice for the gas turbine plants // Electronics. — 2015. — Т. 19. — № 2. — С. 80–87.

Н.А. Ревин, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ МЭИ)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА НЕФТЕПРОДУКТЫ НА МЕЛКООПТОВОМ РЫНКЕ, В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Рынок светлых нефтепродуктов в России демонстрирует динамично развивающиеся тренды, обусловленные как внутренними, так и внешними факторами. По данным Агентства нефтегазовой информации 73% продаж самых распространенных светлых нефтепродуктов (бензин и дизельное топливо) приходится на вертикально-интегрированные компании, которые регулируют всю цепочку производства от геологоразведки и добычи нефти до продажи топлива конечному потребителю. Остальные 27% продаж распределены между множеством других операторов [1].

Объектом исследования является процесс ценообразования на нефтепродукты. Предметом исследования являются технологические инновации и цифровые решения, применяемые нефтетрейдерами для оптимизации процесса ценообразования.

В ходе анализа практики деятельности мелкооптовых предприятий авторами было установлено, что такие организации имеют большой ряд контрагентов. В зависимости от того, как меняется конъюнктура рынка, на один и тот же базис поставки в разное время нефтетрейдер поставяет продукцию с разных баз или заводов. Перевозку тоже часто осуществляет не один и тот же контрагент, в зависимости от загруженности и стоимости тарифов. Однако покупатель не имеет информации обо всех составляющих каждой конкретной поставки, поэтому острой проблемой является непрозрачное ценообразование для клиентов, что ведет к оттягиванию платежей со стороны покупателей и, как следствие, повышению дебиторской задолженности.

Собранная информация позволила сделать автору вывод о необходимости разработки модели ценообразования, которая с помощью цифровых решений будет наглядно отображать цепочку формирования цены для конечного потребителя.

Внедрение этой модели в практику деятельности мелкооптовых нефтетрейдерских организации позволит достичь следующих полезных эффектов: увеличить скорость документооборота, что позволит увеличить оборачиваемость собственных средств и уменьшить дебиторскую задолженность. Помимо этого прозрачное ценообразование может служить инструментом рыночной стратегии компании, что позволит увеличить количество заключаемых долгосрочных договоров.

Литература

1. Исследование BusinesStat «Анализ рынка бензина в России в 2018–2022 гг., прогноз на 2023–2027 гг. в условиях санкций».

А.В. Шабалина, студ.;
рук. Ю.Н. Харитоновна к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ЭНЕРГОКОМПАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Изменения, связанные с развитием цифровых технологий, требуют адаптации аудиторской деятельности к новым условиям для обеспечения точности, скорости и безопасности проверок.[1]

Внедрение передовых аналитических технологий (Big Data analytics, машинное обучение, искусственный интеллект) позволит значительно повысить эффективность внутреннего аудита, обеспечив своевременное выявление и предотвращение рисков.

Целью исследования выступает анализ существующих практик внутреннего аудита в энергокомпаниях и разработка стратегии цифровизации внутреннего аудита энергокомпаний.

Проведенный анализ позволил выявить положительные эффекты:

- Внедрение систем управления доступами и контроля информации повышает безопасность аудиторских данных;
 - Электронный документооборот и автоматизированные системы снижают риски подделки документов и повышают достоверность аудиторских заключений.
- В ходе исследования были выявлены отрицательные эффекты:
- Хранение и обработка больших объемов конфиденциальных данных требуют высокого уровня защиты от взломов и утечек информации, поэтому возникает необходимость в квалифицированных кадрах;
 - Повышение затрат и риски прерывания работы системы.

Анализ существующих практик внутреннего аудита в энергокомпаниях показал, что многие организации находятся на начальных этапах цифровизации используя преимущественно традиционные методы аудита. Разработанная стратегия цифровизации внутреннего аудита энергокомпаний представляющая собой поэтапный план внедрения цифровых технологий, включающий оценку текущего состояния, развертывание необходимой инфраструктуры, улучшение системы кибербезопасности и контроль эффективности, позволит обеспечить эффективность и результативность аудиторских работ.

Таким образом, практическая значимость результатов заключается в возможности использования разработанной стратегии энергокомпаниям для повышения эффективности и качества внутреннего аудита.

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.

Ю.В. Печенина, студ.; рук. А.Ю. Амелина (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Цифровой двойник (ЦД) — это виртуальная модель физического объекта или системы, которая обновляется на основе данных, поступающих с реального объекта и которая позволяет контролировать состояние, анализировать работу и прогнозировать поведение оборудования в режиме реального времени. В электросетевом комплексе данная технология помогает оптимизировать эксплуатацию, повысить надёжность работы и сократить затраты на обслуживание инфраструктуры [1].

Цель исследования состоит в разработке стратегии внедрения ЦД в электросетевом комплексе.

В рамках исследовательской работы была собрана и проанализирована статистика использования ЦД в электроэнергетической отрасли, в частности — электросетях, проведён обзор отечественной и международной литературы, рассмотрены существующие виды цифровых двойников, применяемых в электросетях, а также изучен рынок предлагаемых цифровых решений в данной области. Кроме того, были выявлены ключевые проблемы, касающиеся внедрения ЦД, среди которых оказались высокие затраты на разработку, сложность обеспечения информационной безопасности и вопрос интеграции с эксплуатируемым устаревшим оборудованием [1, 2].

У результатов проведенного исследования есть потенциал использования при осуществлении планирования цифровизации электросетевого комплекса, включая разработку пилотных проектов по внедрению ЦД. На их основе возможно проведение экономической оценки такого рода проектов, что в перспективе позволит энергетическим компаниям снизить затраты и повысить рентабельность, а предложенные решения смогут способствовать разработке нормативно-правовых актов, регулирующих использование цифровых технологий в энергетике.

Таким образом, ЦД способны значительно повысить устойчивость и гибкость электросетевого комплекса, однако развитие этих технологий требует и будет требовать комплексного подхода, включающего экономическую оценку, совершенствование нормативно-правовой базы и подготовку специалистов, при этом разработанная стратегия внедрения ЦД позволит ускорить процесс их внедрения и обеспечит беспрепятственную интеграцию в сложные технологические процессы.

Литература

1. Цифровые двойники меняют процессы управления в энергосистеме. so-ups.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru/news/press/press-view/news/23505/>. Дата обращения — 14.11.24.
2. Что такое цифровой двойник и где применяется эта технология. nur.kz. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3Ebxdk>. Дата обращения — 14.11.24.

Д.А. Дикая, студ.;
рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА В РОССИИ В ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ

В последние годы Россия сталкивается с необходимостью перехода в контексте глобальных изменений климата к устойчивым источникам энергии. В своем исследовании я сосредоточилась на изучении специфических аспектов энергетического перехода в России, включая анализ существующих проблем и препятствий на пути развития гидроэнергетики в России, выявляя как вызовы, так и возможности для достижения энергетической устойчивости.

Актуальностью данной темы обусловлена не только необходимостью выполнения международных экологических обязательств, таких как Парижское соглашение, но и стремление страны к технологическому обновлению и диверсификации экономики.

Целью данного исследования является изучение текущего состояния и перспектив развития гидроэнергетики в России, а также выявление ключевых факторов, влияющих на трансформацию энергетического сектора страны. Исследование направлено на изучение роли гидроэнергетики в процессе декарбонизации энергетической отрасли и обеспечения устойчивого развития.

В рамках исследования был проведен комплексный обзор текущих тенденций в развитии гидроэнергетического сектора России. В частности, были рассмотрены проблемы и перспективы модернизации действующих гидроэлектростанциях, строительства новых, а также развитие малых гидроэлектростанций, которые играют важную роль в обеспечении энергетической безопасности, особенно в отдельных регионах страны.

Методология исследования включает анализ литературных источников, статистических данных, нормативно-правовых актов и отчетов российских и международных организаций, занимающихся энергетической тематикой.

В рамках исследовательской работы было выявлено, что переход к устойчивой гидроэнергетике в России требует комплексного подхода, учитывающего не только технические и экономические факторы, но и экологические и социальные. Эффективное управление ресурсами, внедрение инновационных технологий является ключевыми элементами для успешной реализации этого перехода.

Литература

1. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития / Л.Н. Проскуракова, Г.В. Ермоленко; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: НИУ ВШЭ, 2017. — 96 стр.

*Г.О. Корсаков, аспирант;
рук. Т.А. Шиндина, д.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ЗАДАЧИ И ВЫЗОВЫ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ АНТИРОССИЙСКИХ САНКЦИЙ

В настоящее время нефтегазовая отрасль сталкивается с серьезным вызовом, связанным с утратой экономических связей с ведущими технологическими странами. Цель исследования — оценка технологического развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) РФ в условиях антироссийских санкций. Ограничение поставок технологий, компонентов и оборудования приводит к увеличению сроков реализации проектов и росту производственных затрат, также это связано с трудностями в импортозамещении необходимой компонентной базы (таблица 1).

Таблица 1. Последствия санкций на примере нефтегазовой отрасли

Отрасль	Влияющие факторы	Последствия санкций
Нефтегазовая отрасль	Мировая конъюнктура; Иранская сделка	Снижение объемов физического экспорта нефти, нефтепродуктов, газа с момента введения эмбарго, ценового потолка [1]

Современные показатели выполнения целей в области технологического развития, а также внешнеэкономические проблемы и ужесточение санкций требуют оперативной корректировки промышленной политики РФ.

В 2023 и 2024 годах российское Правительство разработало набор мер государственной поддержки, включая механизмы финансирования экономики и инновационные инициативы, а также организационное сопровождение [2].

Анализ текущих показателей в области технологического развития отечественного ТЭК позволяет авторам прийти к выводу, что для обеспечения инновационного прогресса, укрепления национальной безопасности и достижения технологического суверенитета необходимо сосредоточиться на трех важных аспектах: развитии науки, техники и технологий, цифровизации и импортозамещении. Это определяет основы для коренной трансформации модели ТЭК.

Литература

1. **Делиева, А.П.** Международное сотрудничество России в условиях санкций / А.П. Делиева // Современная мировая экономика: вызовы и реальность: Материалы V МНПК, Донецк, 06 декабря 2022 года / Отв. редактор Г.А. Шавкун. — Донецк: ДНТУ, 2022. — С. 23–29.
2. **Усманов, М.Р.** Методология и организационно-экономические механизмы развития российских инжиниринговых центров в нефтегазопереработке и нефтегазохимии: Диссертация на соискание д.э.н. / Усманов, М.Р.; РГУ НЕФТИ И ГАЗА им. И.М. Губкина. — Москва, 2024. — 412 с.

П.Г. Потапова, студ.; рук. А.Ю. Амелина к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОТОКОЛА MQTTV3.1.1 НА СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДОВ ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ КОМПАНИЙ

Величина расходов компании, использующей Интернет вещей, зависит в том числе и от функционала стандарта протокола, ответственного за передачу данных, который активно применяют в своей работе энергосбытовые компании. Наиболее востребованным и перспективным является стандарт протокола обмена данными между датчиками MQTT [1]. На данный момент научные работы авторов не включают в себя оценку влияния нового функционала протокола на сокращение расходов энергосбытовых компаний.

Для решения вопроса полного учета расходов энергосбытовых компаний проведена оценка экономических эффектов нового функционала протокола MQTTv5, а также на примере энергосбытовой компании рассмотрено влияние данного протокола на экономические показатели. Среди наиболее значимых положительных экономических эффектов выделены следующие:

1. Снижение трудоёмкости обслуживания производства вследствие введения функции «Перенаправления сервера».
2. Снижение трудоёмкости обслуживания производства вследствие введения функции «Коды и строки причин на все АСК-сообщения» [2].

Апробация оценки влияния на сокращение расходов на примере экономических показателей энергосбытовой компании подтвердила положительный экономический эффект нового функционала протокола в размере около 40 млн. руб./год.

Проведенная оценка позволит корректно оценить доходы и расходы от внедрения новой версии стандарта протокола MQTTv5, внедрение протокола MQTTv5 энергосбытовым компаниям сократить расходы.

Литература

1. **Р. Джамбона, А.Е.К. Редонди и М. Чезана**, «Mqtt+: расширенные функции синтаксиса и брокера для фильтрации, обработки и агрегации данных», Нью-Йорк штат Нью-Йорк, США: ACM, 2018, стр. 77–84. [Онлайн]. Доступно: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3267129.3267135>
2. **П. Ютадхамакорн, Т. Пиллавас, В. Висоттивисет, Р. Такано, Дж. Хага и Д. Коба-яши**, «Масштабируемая и недорогая система кластеризации брокеров mqtt», 2017 г. 2-я Международная конференция по. IEEE, 2017, стр. 1–5. Доступно: <https://www.sciencegate.app/search#d77eff71-4539-4489-ab68-c8ab86e1e262/10/10>

А.Е. Попов, асп.; рук. И.Г. Ахметова, д.т.н., доцент (КГЭУ, Казань)

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Между динамикой макроэкономических показателей (ВВП, индекс производства, инвестиции и др.) и динамикой потребления электроэнергии давно установлены корреляции [1, 2], особенно на уровне стран и регионов. Авторы обосновали возможность использовать динамику электропотребления для оценки экономического развития муниципальных образований (МО) субъекта РФ [3]. Методология оценки и программно-аппаратный комплекс (ПАК), сделанный на ее основе, будет апробирована на данных по Республике Татарстан. В основе ПАК — данные гарантирующего поставщика, АО «Татэнергосбыт», дополненные макроэкономическими индикаторами (отгрузка, добавленная стоимость и др.). За счет перевода абсолютных значений (в кВт*час) в относительные (динамику электропотребления в % — м/м, г/г и т.д.) можно будет распределять МО по росту/сокращению электропотребления, настроить ПАК на расчеты электроемкости, удельного электропотребления на душу населения [4, 5] и др. Конечным продуктом ПАК станут рейтинги МО, построенные на основе интегрального показателя. В условиях недостатка и низкого качества муниципальной статистики в РФ актуальным инструментом для оперативного госуправления на региональном и местном уровне. Это подчеркивает высокое практическое значение работы.

Литература

1. **Мутолопов Р.Х.** Связь макроэкономических показателей с потреблением электроэнергии в регионах РФ за последние 30 лет // Управление Т. 11 № 2/2023. С. 78–87.
2. **Куренкова А.Ю., Любимова Н.Г.** Анализ и прогноз электропотребления в Алтайском крае // Вестник университета № 7, 2018. С. 97–103.
3. **Ахметова И.Г., Майнакский Э.М., Попов А.Е.** О возможностях и перспективах использования электропотребления в качестве индикатора оценки экономического развития муниципальных образований субъекта РФ (на примере Республики Татарстан) // Вестник КГЭУ. 2024. Том 16. № 1. С. 178–185.
4. **Климова Г.Н., Литвак В.В.** Энергоемкость валовой добавленной стоимости — инструмент сравнения эффективности потребления энергоресурсов // Проблемы энергетики. 2012. № 7-8. С. 108–116.
5. **Некрасов С.А.** Рост электропотребления российских регионов как фактор их социально-экономического развития // Экономика региона, Т. 18, вып. 2 (2022). С. 509–527.

Секция 32

МЕНЕДЖМЕНТ

Management

Председатель секции: к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна

Секретарь секции: Вольная Сима Агилевна

О.А. Штагер, ст. преп.; рук. И.А. Кондаурова, к.э.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗВИТИЕ СФЕРЫ ТРУДА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Сфера труда претерпевает кардинальные перемены под воздействием целого ряда факторов. На первый взгляд, рынок труда меняется стремительно и непредсказуемо, но одной из его характеристик является принцип прогнозируемости. Очевидно, что перед нами стоит задача не дублировать теоретическую проблематику данного вопроса, а попытаться рассмотреть данную проблему с учетом прикладного подхода в рамках имеющихся возможностей и сложившегося уровня регулирования рынка труда. Наука не может продвигать свои разработки без реальной поддержки и взаимодействия со структурами, чья специфика напрямую зависит от этого.

Сфера труда — та область, которая характеризуется динамичностью и подвергается постоянному моделированию. Демографические сдвиги, миграционные процессы и перемены в организации труда существенно оказывают влияние на спрос и предложение рабочей силы. Российский топливно-энергетический комплекс (ТЭК) продолжает оставаться ключевым звеном и мощным драйвером российской экономики, который успешно отвечает на возникающие вызовы. По итогам 2023 г., доля ТЭК в бюджете России составила 30%, в ВВП — 20%, а в экспорте — почти 60%, инвестиции в основной капитал в ТЭК превышают 7 трлн. руб. [1].

В работе предлагается инкорпорировать подходы к повышению интенсивности практических научных исследований рынка труда ТЭК, усовершенствованию и унификации категориально-понятийного аппарата или базовых понятий, влияющих на законотворческий механизм, развитие законодательных инструментов регулирования, нормирования труда, гибких форм занятости, структур дополнительного профессионального образования, модернизация системы социальной защиты, пересмотр программ в области занятости и пр.

Таким образом, научными составляющими сферы труда должны стать комплексные подходы государственного управления и субъектов хозяйственной деятельности в процессе разработки программ устойчивого развития.

Литература

1. **Надежная работа ТЭК — устойчивая и динамичная экономика** [Электронный ресурс]. — URL: <https://energypolicy.ru/nadezhnaya-rabota-tek-ustojchivaya-i-dinamichnaya-ekonomika/business/2024/15/03/>

Ш.М. Хасаншин, студ.; рук. Д.С. Курочкин, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СЕРТИФИКАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ЗДАНИЙ

При установлении в РФ класса энергетической эффективности здания учитывают удельные расходы по ряду факторов энергоиспользования: энергоресурсы на отопление, на вентиляцию, на горячее водоснабжение, на электроснабжение в части расхода электрической энергии на общедомовые нужды. Для определения класса смотрят на величину отклонения значения фактического удельного годового расхода энергоресурсов от базового уровня и сравнивают с таблицей базовых расходов энергоресурсов [1]. Эти факторы характеризуют результат энергоиспользования. Но для управления параметрами таких процессов следует также учитывать факторы их протекания для обоснованного выбора приоритетных направлений повышения класса энергетической эффективности зданий.

Система сертификации энергоэффективности зданий в США, LEED [2], включает в себя расширенный по сравнению с РФ набор показателей, призванный оценить факторы протекания эксплуатационных процессов: энергетическая эффективность, инновации в зеленом строительстве, используемые материалы и ресурсы, устойчивые земельные участки, водосбережение. Данная система способствует комплексному подходу к управлению энергоэффективностью, стимулируя инновации.

«GB-T 50378-2019 Стандарт оценки зеленых зданий» — система сертификации в КНР содержит в себе, в отличие от РФ, социально-экономические показатели: удобство проживания, уровень ресурсосбережения, комфортность окружающей среды. В Китае при сертификации учитывается как процесс эксплуатации жилого здания и конечный результат его энергопотребления, так и полный процесс его жизненного цикла. Таким образом, китайский стандарт структурно поддерживает все компоненты концепции устойчивого развития, в отличие от системы сертификации РФ.

Сравнительный анализ механизмов сертификации энергоэффективности зданий в различных странах показывает, что РФ для повышения уровня управления процессами энергоиспользования необходимо целевым образом пересмотреть подход к назначению классов энергоэффективности объектов строительства. Энергоэффективность жилых помещений, ключевая компонента т.н. «зеленого строительства» [2] в контексте следования концепции устойчивого развития как объект управления в РФ требует механизмы оценки и сертификации с расширенным набором процессных показателей.

Литература

1. Об утверждении правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов: Приказ N399/пр [принят Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 6 июня 2016 года] — Доступ из справ.-правовой системы Гарант. — Текст: электронный.
2. Рыженков Анатолий Яковлевич Развитие в России «зеленого» строительства как элемента «зеленой» экономики: правовой аспект // Аграрное и земельное право. 2023. № 11 (227). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-v-rossii-zelenogo-stroitelstva-kak-elementa-zelenoy-ekonomiki-pravovoy-aspekt> (дата обращения: 15.11.2024).

Я.О. Антоненко, студ.;
рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ «БЕСШОВНОГО» ПЕРЕХОДА БИЗНЕСА К УКРУПНЕНИЮ

Влияние российского бизнеса на экономику страны с каждым годом усиливается. Это связано с целым рядом социально-экономических и политических факторов, на фоне которых государством создаются благоприятные условия для развития бизнес-сферы. С 2019 года запущен и на данный момент активно функционирует национальный проект «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы». В рамках проекта действуют спецпроекты поддержки бизнеса, одним из которых является МСП+, позволяющий осуществить «бесшовный» переход предприятий из сектора малого и среднего бизнеса в крупный. Такой переход, обеспеченный гарантированной финансовой и законодательной поддержкой со стороны государства, возможен при условии соблюдения определенных критериев.

На современном этапе решение системной задачи развития предпринимательства и предпринимательской инициативы обостряет проблему отсутствия целостной диалектической модели с четким представлением механизмов гибкого перехода бизнеса от малых форм к более крупным. В связи с этим возникает много вопросов, в частности, о разработке инструментов и создании условий поддержки всех форм бизнеса, о формировании институтов, обеспечивающих беспрепятственный переход и адаптацию бизнеса к новым обстоятельствам и вызовам и др. Ответ на эти вопросы обуславливает необходимость разработки модели «бесшовного» перехода предприятий по уровням бизнеса, в связи с чем возникает потребность в проведении анализа и поддержке незащищенных секторов микробизнеса. Такая модель должна базироваться на принципах системного и модульного подходов, учитывать специфику каждого уровня бизнеса в проекции его развития, функционал институтов МСП и весь необходимый набор инструментов поддержки бизнес-сферы. Немаловажную роль в разработке такой динамической модели играет целевое государственное финансирование в рамках действующих государственных программ и проектов.

Литература

1. regulation.gov.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=143075>. — Дата доступа: 11.11.2024.

А.С. Зимина, студ.; рук. М.Т. Заргарян, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОКРАЩЕНИЕ ЭКРАННОГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

В обществе цифровизации сотрудник постоянно использует технические средства хранения и передачи данных, которые, несомненно, упрощают деятельность организации, но при этом могут стать причиной утраты временного ресурса или использования его нерационально.

По данным РБК, в сутки жители ЦФО проводят перед экраном в среднем 7 часов по рабочим задачам и 3 часа по личным [1]. Это практически 42% времени бодрствования в течение дня. В исследовании DataReportal, Россия занимает второе место по времени использования ПК — более 4 часов в сутки (25,9% дня), незначительно уступая пользователям из ЮАР [2]. Если сократить это время на час, то появится не только больше возможностей для качественного выполнения трудовых функций, но и станет полезным для нашего психического здоровья и самочувствия.

По мнению ученых из Рурского университета в Германии, уменьшение экранного времени сотрудников может стать ключевым инструментом системы мотивации [3].

Таким образом, с помощью программ, представленных в таблице 1, можно оптимизировать рабочий процесс, повысить продуктивность сотрудников и обеспечить их эффективную мотивацию.

Таблица 1. Программы для отслеживания экранного времени сотрудников

Название	Применение
Kickidler	Для крупномасштабных компаний, глубокий анализа экранного времени во время работы.
Insightful	Для МСБ, потому что важен учёт общего рабочего времени, но не требуется жесткий контроль.
ИНСАЙДЕР	Для компаний в России, где важен базовый контроль сотрудников.
Crocotime	Оптимальна для организаций с офисной деятельностью.

Литература

1. РБК: [Электронный ресурс] URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2021/06/08/60be29f89a794715474be23b>
2. ElectronicsHub: [Электронный ресурс] URL: <https://www.electronicshub.org/the-average-screen-time-and-usage-by-country/>
3. Справочная Точка: [Электронный ресурс] URL: <https://allo.tochka.com/news/less-smartphone>

Н.-Л.Э. Попов, асп.; рук. О.А. Бучнев, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЦЕНКИ ИЗМЕРЕНИЯ СТРАХОВОЙ СТОИМОСТИ ФАСАДА ЗДАНИЯ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Для оценки страховой стоимости объекта недвижимости с использованием искусственного интеллекта (ИИ) предлагается интегрированная математическая модель, которая объединяет данные о строении объекта, визуальные данные (анализ изображений фасадов) и текстовые отчеты.

Модель использует статистические методы, такие как регрессия, чтобы рассчитать страховую стоимость объекта на основе его характеристик (например, площади, материалов, состояния), а также прогнозируемой (страховой) стоимости ремонта. Важное внимание уделяется не только самому объекту, но и потенциальным рискам повреждений, выявляемым через компьютерное зрение. Используя изображения объекта, ИИ анализирует наличие различных повреждений и вычисляет вероятность их влияния на дальнейшую стоимость ремонта и страховую выплату. Повреждения, такие как трещины или структурные дефекты, учитываются в процессе расчета. Для определения стоимости ремонта модель анализирует степень повреждений, тип материалов, которые понадобятся для восстановления, а также предполагаемые трудозатраты. Это позволяет точно рассчитать, сколько средств потребуется для восстановления объекта.

Все полученные данные — характеристики объекта, оценка повреждений и прогнозируемая стоимость ремонта — интегрируются в единую модель, которая производит окончательную оценку страховой стоимости. Такой подход обеспечивает более точную и объективную оценку, учитывая все возможные риски и особенности объекта.

Модель также оценивает риски, связанные с объектом, такие как вероятность возникновения природных катастроф (и других страховых событий), с использованием алгоритмов машинного обучения. Это позволяет дополнительно скорректировать страховую стоимость с учетом факторов, которые могут повлиять на объект в будущем.

Управление процессом оценки страховой стоимости фасада здания с использованием математических моделей и ИИ приводит к повышению точности и эффективности оценки.

Литература

1. Качалин В.С., Калугин А.В. Математическая модель процесса принятия решения о проведении косметического ремонта помещений // Современные наукоемкие технологии. — 2023. — № 10. — С. 45–54.

Н.Е. Прошкин, асп.; рук. О.А. Бучнев, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТРАЕКТОРИЙ СОВРЕМЕННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ



Рис. 1. Соотношение образовательных программ и численности обучающихся на 2023 год по данным Минобрнауки [1]

с выпускником «широкого профиля», специалист (специалитета) — более «узкого профиля», а магистрант — выпускником готовым к научно-исследовательской и аналитической деятельности.

Необходимо отметить важное преимущество преемственности бакалавриата-магистратуры в контексте образовательной траектории, выражающееся в более оперативной и гибкой реакции на потребности рынка труда, в сравнении со специалитетом, что также в некотором роде отражается в статистической информации, собираемой Минобрнауки (рис. 1). Однако при более детальном анализе процесса формирования образовательных программ можно заметить, что от начала формирования до выпуска и последующего завершения обучения проходит достаточно большой период времени, что, в свою очередь, сказывается на актуальности приобретаемых компетенций.

Совершенствование данного процесса позволит повысить конкурентоспособность выпускников на рынке труда и как следствие — привлекательность образовательных программ среди абитуриентов.

Литература

1. Высшее образование // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/> (дата обращения: 20.11.2024).

Е.А. Никуйко, студ.; рук. Н.Е. Прошкин, ассистент (НИУ «МЭИ»)

БАРЬЕРЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Современные экономические вызовы диктуют необходимость использования новейших цифровых технологий в разных отраслях. Отрасль энергетики является стратегической и системообразующей для функционирования государства и требует аналогичного повышения эффективности функционирования.

Искусственный интеллект (ИИ) — совокупность технологических решений, позволяющих имитировать деятельность когнитивных способностей человека и получать результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека или превосходящие их [1].

В энергетической отрасли ИИ может быть направлен на оптимизацию управления самых разных задач: анализ данных, моделирование процессов и т.д. При этом, несмотря на потенциальные преимущества от внедрения ИИ в энергетику, на данный момент имеется ряд существенных барьеров:

- 1) данные — для обучения ИИ требуется большой объем данных, которого может оказаться недостаточно ввиду ненадлежащего сбора;
- 2) инфраструктура — не во всех сферах энергетики используется новейшее оборудование, что в свою очередь потребует значительных инвестиций при внедрении ИИ в данную сферу;
- 3) компетенции — проектирование, разработка, обучение и использование ИИ является сложной задачей и требует высокой квалификации от сотрудников;
- 4) ошибки — модели ИИ подвержены ряду факторов, которые способствуют появлению «галлюцинаций», способствующих искажению производимого анализа, прогноза, вычисления и т.д.

В условиях современных экономических трудностей, грамотное управление внедрением ИИ в энергетике позволяет учесть имеющиеся риски и барьеры, тем самым повышая эффективность работы энергетической отрасли и обеспечить стратегическую независимость данной отрасли. По современным оценкам, благодаря внедрению таких решений рост мировой экономики в 2024 году составит не менее 1 трлн. долларов США [1].

Литература

1. **Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490** (ред. от 15.02.2024 № 124) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (Дата обращения 19.11.2024).

*Н.Е. Прошкин, асп., В.М. Лапшаков, студ.;
рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

БАРЬЕРЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ



Рис. 1. Обстоятельства способствующие принятию решения о покупке ЭМ

Электромобили (ЭМ) в современном мире набирают все больший спрос благодаря стремлению снизить экологическое воздействие транспорта на окружающую среду. Однако попытки массового внедрения ЭМ сталкиваются с рядом социальных и технических ограничений, решение которых критически важно для устойчивого развития данного сектора экономики.

По данным опроса аналитического агентства «АВТОСТАТ»: 40,3% не готовы рассмотреть ЭМ к покупке; 27,4% затрудняются принять решение; 32,4% готовы рассмотреть ЭМ к покупке. На вопрос: «Какие обстоятельства могут способствовать принятию решения о покупке ЭМ» были следующие ответы (рис. 2) [1].

В качестве одного из наиболее оптимальных решений видится создание электро-заправочных станций (ЭЗС), позволяющей решить часть имеющихся трудностей в отрасли, возникающих при развитии инфраструктуры ЭЗС с наименьшей стоимостью и максимально широким спектром возможных сценариев использования. Разработка такой ЭЗС позволит нивелировать один из барьеров локализации ЭМ, повысить конкурентоспособность ЭМ на автомобильном рынке и, как следствие, способствует развитию экологической обстановки в регионе.

При реализации проекта важно учитывать возможные риски и заранее подготовить сценарии для управления ими:

- не востребованность продукта на рынке — углубленное проведение маркетинговых исследований;
- конкуренция — агрессивный маркетинг, ценовая конкуренция и т.д.

Литература

1. Анализ проблем и тенденций развития электротранспортной инфраструктуры / А.А. Великорецкий, Е.С. Орлова, Н.Е. Прошкин, А.А. Журавлев // Муниципальная академия. — 2024. — № 2. — С. 114–126.

К.А. Балакирева, студ.;
рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРТАЛА БИТРИКС24 ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА В КОМПАНИИ

Адаптация персонала — это процесс приспособления нового сотрудника к организационной среде, культуре, ценностям, правилам и нормам поведения в коллективе [1].

Адаптация персонала играет ключевую роль в успешном функционировании любой организации, особенно в условиях высокой динамики рыночных условий и постоянных изменений в технологическом окружении. В связи с этим, необходимо использовать соответствующие инструменты и применительно к процессу адаптации.

Одним из инструментов цифровизации в области управления персоналом является использование корпоративного портала [2]. Корпоративная информация о компании представляет большую ценность, поэтому с ней необходимо ознакомиться каждому новому сотруднику. Имея удаленный доступ к базе информации, работник получает возможность быстро ознакомиться с нужными документами и видеороликами в удобное для него вне рабочее время.

Платформа Битрикс24, российский сервис для управления бизнесом, предоставляет возможность создания подобной базы знаний, которая может включать в себя всю необходимую для успешной адаптации информацию. На первичном использовании данной платформы мы предлагаем разделять данные на два раздела:

1. У нас так принято. В данном разделе будет находиться информация о самой компании, организационной структуре, правилах и прочего важного, что необходимо знать новичку.
2. Работа в системе. Данный раздел включает в себя информацию и инструкции, касающиеся различных рабочих процессов. К примеру инструкции, о постановке задач разным отделам, работе с корреспонденцией и с основным рабочим функционалом.

При использовании данной системы знаний повысится не только возможность успешной адаптации сотрудника, но и ускорится процесс вовлечения новичка во все рабочие процессы.

Литература

1. **Кибанов А.Я.** Основы управления персоналом: учебник. — 3-е изд. М.: ИНФРА-М, 2014. — 440 с.
2. **Субочев, Н.С., Патутина Е.Д.** Цифровые инструменты управления адаптацией персонала в современных организациях // Социально-гуманитарные знания. — 2019. — № 3. — С. 261–267.

Д.С. Ловчикова, студ.;
рук. М.А. Знаменская, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНЕМ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТУРИЗМЕ



Рис. 1. Ядро модели управления временем проектной деятельности в туризме

Тайм-менеджмент является частью большой системы управления, его применение и внедрение при управлении проектами является важным и будет считаться эффективным при условии системного подхода к процессу управления временем проектов.

Существует необходимость разработки модели тайм-менеджмента, где каждый ее элемент включает и сочетает в себя определенные индивидуальные и специфические характеристики

проекта, особенно, если этот проект относится определенной отрасли, в частности к туристической индустрии. Кроме этого, применение цифровых технологий в туризме позволит привлечь различные категории общества на современном этапе [1]. Так консалтинговая компания в сфере туризма OAG проводила исследование, согласно которому 25% путешественников заявили, что доверили бы заказ и покупку авиабилетов голосовым помощникам.

Разработка модели управления временем проектной деятельности в туризме, отличается от существующих разработок, применением в ней двух инновационных технологий: плейбэк и цифровой двойник. Применение инновационного инструмента (цифровой двойник) позволит быстро принять и обработать поступающий запрос на разработку туристического проекта, что в дальнейшем позволит сформировать примерное техническое задание для проекта. Инновационная технология (плейбэк) позволит проигрывать и предотвращать ситуации, которые могут возникнуть при воплощении туристического проекта и позволит снизить вероятность отставания по срокам при реализации проекта.

Литература

1. **Зотов, В.Б., Исаева, М.И., Царапов, М.Н.** Традиции и способы взаимодействия государства и гражданского общества / В.Б. Зотов, М.И. Исаева, М.Н. Царапов // Муниципальная академия. — 2023. — № 4. — С. 15–20.

*И.Д. Сазонова, асп., М.А. Знаменская, к.э.н., доц.;
рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОДДЕРЖКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Цифровые технологии играют ключевую роль в устойчивом развитии электротранспорта. В статье рассматриваются способы поддержки электрического транспорта через внедрение цифровых технологий, включая IoT, системы больших данных, искусственный интеллект и GPS-навигацию для повышения комфорта, оперативности и развития экологически чистого городского транспорта в г. Москве.

Рост урбанизации и стремление снизить влияние транспорта на экологию обуславливают переход на электротранспорт, где цифровые технологии становятся ключевым инструментом его внедрения в городскую инфраструктуру [1]. Рис. 1. отображает основные цифровые технологии, активно применяемые в управлении электротранспортом. IoT-устройства в электробусах позволяют собирать данные о состоянии аккумуляторов и технических систем, что помогает своевременно проводить обслуживание и избегать сбоев. Большие данные используются для анализа пассажиропотока, оптимизации маршрутов и прогнозирования загрузки линий. Искусственный интеллект автоматизирует управление маршрутами в режиме реального времени, а также способствует диагностике технического состояния транспорта, предотвращая поломки. GPS-навигация отслеживает местоположение транспорта, контролировать выполнение расписаний и информировать пассажиров о времени прибытия.

Таким образом, внедрение цифровых технологий улучшает управление транспортной системой и создает инновационную среду, способствующую развитию не только электротранспорта, но и городской инфраструктуры.



Рис. 1. Виды цифровых технологий в области электротранспорта

Литература

1. Кетоева Н.Л., Сазонова И.Д., Заргарян М.Т., Киселева М.А. Состояние и перспективы рынка электромобилей в РФ // Муниц. акад. 2022. № 3. С. 74–85.

Р.Г. Рогов, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ СФЕРЫ ЖКХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В настоящее время в Республике Беларусь остро стоит вопрос подготовки квалифицированных сотрудников для системы жилищно-коммунального хозяйства. В Республике Беларусь существует профилированная подготовка кадров для сферы ЖКХ, и молодые специалисты по окончании обучения (за счет бюджетных ассигнований) направляются на предприятия ЖКХ для получения трудового опыта на 2 года. Таким образом, молодые люди, поступающие в вузы и колледжи, уже имеют гарантированное рабочее место, что является несомненным преимуществом. Однако существует основная проблема: после окончания обязательного периода работы молодые специалисты переходят из государственных компаний в частные организации. Предприятиям сложно удерживать сотрудников, поскольку в частных компаниях зарплата выше, а существующие стимулирующие меры поддержки не всегда эффективны.

Важным аспектом эффективной работы отрасли жилищно-коммунального хозяйства выступают мотивация и стимулирование труда персонала в данной сфере. Эффективная система мотивации и стимулирования позволяет повысить качество предоставляемых услуг в сфере ЖКХ, снизить текучесть кадров, а также повысить удовлетворенность сотрудников своей работой [1].

Решение проблемы удержания молодых специалистов в сфере ЖКХ Республики Беларусь может заключаться в использовании опыта зарубежных стран, СССР и методов стимулирования сотрудников из других секторов экономики. Например, предоставление льгот на проезд, аренду или покупку жилья, оплату ЖКУ, предоставление жилья в аренду с возможностью последующего выкупа, повышение квалификации и обучение новым специальностям.

Вместе с тем для улучшения качества жилищно-коммунальных услуг и повышения эффективности производства в организациях ЖКХ предлагается разработать систему материального стимулирования персонала на основе ключевых показателей КРІ. КРІ представляют собой числовые или относительные значения, которые зависят от времени и могут определяться на год, квартал или ежемесячно [2].

Литература

1. **Кузина М.Н.** Особенности мотивации и стимулирования персонала в сфере ЖКХ / Бухгалтерский учет и налогообложение в бюджетных организациях. — 2023. — № 10. — С. 10.
2. **Сучкова А.А.** Повышение эффективности материального стимулирования работников жилищно-коммунального хозяйства / А.А. Сучкова; науч. рук. Е.П. Пономаренко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2024 г.: в 2 ч. Ч. 2 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; под общ. ред. А.А. Бойко. — Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2024. — С. 121–125.

Д.К. Шецьков, асп.; рук. Д.Ю. Савон, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РОЛЬ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Инновационная деятельность является ключевым фактором развития экономики и общества в современном мире. Она представляет собой процесс создания, распространения и использования новых знаний, технологий и продуктов, которые способствуют повышению конкурентоспособности и улучшению качества жизни.

В данном случае возникает необходимость анализа и систематизации полученного опыта, разработанного отечественными учёными такими, как Антонен В.А.

Следует дать характеристику понятию инновация — это создание или усовершенствование продукта или процесса в результате исследования или эксперимента. Оно может быть создано для коммерческого использования или для общественного блага [1].

Инновации в электронной промышленности представляют такие виды продукции как: 2D-материалы, мемристоры, нейроморфные вычисления и нейроморфные чипы, молекулярные вычисления, гибридная металлизация и гибридная интеграция, печатная электроника, дисульфидные нанотрубки, пригодная для носки и имплантируемая электроника, EUV-фотолитография, чиплеты. Эти компоненты электронной промышленности позволяют улучшить производственные процессы компании и улучшить её конкурентные позиции. При этом использование нанотехнологий позволяет создавать компоненты с меньшими деталями с высокой точностью, минимальными ресурсными и временными затратами. Технология искусственного интеллекта и машинного обучения использует алгоритмы машинного обучения для принятия решений на основе анализа информации. Квантовые компьютеры и коммуникации обеспечивают более безопасные и быстрые способы передачи информации.

Также при этом, российская экономика за счет внедрения ИИ получила в 2023 году 1 трлн. руб., что представляет позитивную перспективу развития данной отрасли промышленности в России [2].

Литература

1. **Антонен В.А.** Инновационный менеджмент: учебник и практикум для вузов / В.А. Антонен [и др.]; под редакцией В.А. Антонца, Б.И. Бедного. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 303 с.
2. **Александр Ведяхин:** 1 трлн рублей дополнительных доходов принёс России искусственный интеллект в 2023 году // Комсомольская правда URL: <https://www.stav.kp.ru/online/news/5844398/> (дата обращения: 06.12.2024).

А.А. Андреева, студ., М.А. Знаменская, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

К ВОПРОСУ О ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

В современном быстро меняющемся мире компаниям необходимо постоянно адаптировать свои бизнес-процессы, чтобы оставаться конкурентоспособными. Две важные концепции, которые играют жизненно важную роль в формировании современного бизнеса — это управление бизнес-процессами и цифровая трансформация.

Каждый бизнес-процесс представляется последовательностью операций, которые нацелены на достижение определенного результата [1].

Жизненный цикл процесса — последовательность стадий и фаз, определяющих динамику реализации и развития процесса [2]. Жизненный цикл, предложенный Фон Розингом и Этцелем состоит из четырех различных этапов: понимание, внедрение инноваций, трансформация и постоянное совершенствование. В зависимости от конкретного случая основные фазы могут быть разделены на подэтапы, как показано на рисунке 1.

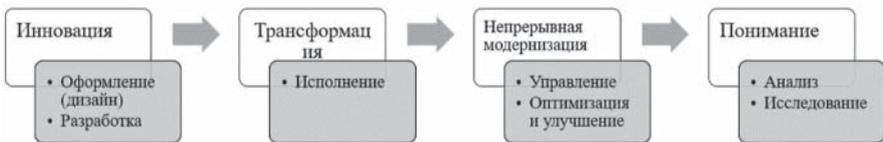


Рис. 1. Жизненный цикл цифровой трансформации, предложенный Фон Розинг и Этцель

Отметим, что цифровая трансформация и управление бизнес-процессами — это две взаимосвязанные концепции, именно бизнес-процессы обеспечивают основу для цифровой трансформации путем оптимизации процессов, а цифровые технологии улучшают бизнес-процессы, предоставляя данные, аналитику и инструменты автоматизации. В конечном счете, интеграция бизнес-процессов и цифровой трансформации является стратегически важным решением для организации, которая стремится к процветанию в цифровой сфере.

Литература

1. **Кольцова Ольга Владимировна, Меньщикова Вера Ивановна** Бизнес-процесс как основа процессного подхода в управлении // Вестник ТГУ. 2008. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biznes-protsess-kak-osnova-protsessnogo-podhoda-v-upravlenii> (дата обращения: 29.11.2024).
2. **Жизненный цикл процесса** | Глоссарий ПитерСофт [Электронный ресурс] — Режим доступа <https://piter-soft.ru/knowledge/glossary/process/zhiznenniy-tsikl-protssesa.html>. (дата обращения: 26.11.2024).

Е.А. Никитина, студ.; рук. Л.К. Рашитова, к.с.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТИЛИ УПРАВЛЕНИЯ В КИРГИЗИИ: РЕЛИГИОЗНЫЙ АСПЕКТ

Сегодня одним из важнейших направлений программы реформ, проводимых в Киргизии является радикальная перестройка системы управления экономикой, переходящей к рыночным отношениям. Управление в Киргизии, как и в других странах, может быть подвержено влиянию различных факторов, включая культурные, исторические и религиозные аспекты [1]. В Киргизии, где ислам является основной религией, стили управления могут варьироваться в зависимости от этих факторов.

Исламские принципы, такие как честность, справедливость и забота о других, могут влиять на стиль управления. Лидеры могут стремиться к более этичному и справедливому подходу в принятии решений. Так же в исламе важна иерархия и уважение к старшим. Это может привести к более авторитарным стилям управления, где решения принимаются на верхнем уровне и передаются вниз по цепочке.

В организациях, где работают люди разных религиозных принадлежностей, может возникнуть необходимость учитывать различные взгляды и подходы к управлению. Смещение различных культурных и религиозных традиций может привести к созданию уникальных стилей управления, которые сочетают элементы из разных систем.

С учетом глобальных тенденций многие организации начинают внедрять современные управленческие практики, такие как гибкое управление проектами и инновационные подходы [2].

Таким образом, стили управления в Киргизии могут значительно различаться в зависимости от религиозных и культурных факторов. Исламские ценности, традиции киргизского народа и влияние других религий создают разнообразие подходов к управлению, что делает эту тему интересной для изучения.

Литература

1. Совершенствование профессиональных навыков и компетенций в управлении международной деятельностью российских университетов: национальные интересы и региональное развитие: коллективная монография [Текст] / В.И. Круглова, Н.В. Пелихова [и др.] // М.: РИОР, 2022. 180 с.
2. **Иманакунов С.** Методы повышения информационной безопасности базы данных при обмене информации в открытых компьютерных сетях / С. Иманакунов // Материалы 62-ой международной сетевой научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов «Наука, техника и инженерное образование в цифровую эпоху: идеи и решения», ч. 1. Бишкек, 2019. С. 182.

Н.И. Зимонина, студ.; рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Актуальность темы обусловлена растущей сложностью и масштабом проектов в энергетическом секторе, требующих эффективного управления персоналом для достижения стратегических целей. Оптимизация кадрового делопроизводства является критическим фактором повышения эффективности управления проектами.

Таблица 1. Таблица влияния кадрового делопроизводства на управление проектами энергетических компаний[1]

Аспект кадрового делопроизводства	Показатель эффективности	Положительное влияние (примерные значения)	Отрицательное влияние (примерные значения)	Общая оценка влияния	Методы измерения
Скорость подбора персонала	Время заполнения вакансий (дни)	-20% (сокращение времени)	+30% (увеличение времени)	Высокое	Анализ данных HR-системы
Квалификация персонала	Процент успешного завершения проектов	+15% (рост успешных проектов)	-10% (снижение успешных проектов)	Высокое	Анализ данных по проектам, опросы менеджеров проектов
Уровень мотивации	Производительность труда (человеко-часы/проект)	+25% (рост производительности)	-15% (снижение производительности)	Высокое	Опросы сотрудников, анализ производительности, анализ данных по проектам
Эффективность обучения	Снижение числа ошибок на этапе реализации проекта (%)	-10% (снижение количества ошибок)	+5% (увеличение количества ошибок)	Среднее	Анализ данных по проектам, отчетность по ошибкам
Управление конфликтами	Количество конфликтов в проектных командах	-20% (снижение конфликтов)	+30% (увеличение конфликтов)	Среднее	Опросы сотрудников, анализ данных по проектам, отчеты менеджеров
Текучесть кадров	Процент увольнений в проектных командах (%)	-5% (снижение текущести)	+10% (увеличение текущести)	Высокое	Данные HR-системы, анализ текущести в проектных командах
Соблюдение требований безопасности	Количество инцидентов, связанных с безопасностью труда	-15% (снижение инцидентов)	+20% (увеличение инцидентов)	Высокое	Данные по охране труда, отчетность по несчастным случаям

Таким образом, эффективное управление проектами в энергетическом секторе критически зависит от наличия квалифицированных специалистов, способных решать сложные задачи в условиях высоких рисков и жестких временных рамок. Наиболее сильное влияние кадрового делопроизводства наблюдается в таких аспектах как скорость подбора персонала, квалификация сотрудников, а также их мотивация [2].

Литература

1. Влияние HRM-систем на увеличение проектной эффективности [Электронный ресурс]. URL: <https://hrtechnology.ru/articles> (дата обращения: 09.12.2024 г.).
2. Кадровое делопроизводство [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hr-elearning.ru/kadroe-delo> (дата обращения: 09.12.2024 г.).

*М.А. Абдимуминова, студ.;
рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ В СФЕРЕ МИГРАЦИИ

В эпоху глобальной цифровой трансформации цифровизация охватывает практически все аспекты жизни современного общества. Так, цифровизация миграционной сферы сегодня является ключевым направлением «Концепции государственной миграционной политики РФ на 2019–2025 годы» и одной из ключевых национальных целей и стратегических задач развития Российской Федерации [1].

Федеральное государственное унитарное предприятие «Паспортно-визовый сервис» Министерства внутренних дел Российской Федерации (ФГУП «ПВС» МВД России) — коммерческое предприятие, подведомственное МВД России, оказывающее услуги комплексного сопровождения в сфере миграции.

В целях оптимизации операционных процессов и увеличения выручки предприятия от основного вида деятельности, планируется разработка и внедрение информационной системы Document Management System, включающая в себя две ключевые функции: автоматизацию заполнения заявления с помощью интегрированных данных и автоматизацию перевода иностранных документов с помощью технологий искусственного интеллекта и оптического распознавания текста (OCR).

Внедрение данной информационной системы предполагает сокращение времени обслуживания клиентов вдвое — с двух часов до одного часа на одного клиента. Учитывая риск того, что сокращение времени обслуживания не гарантирует пропорционального увеличения клиентского потока, а также тот факт, что часть клиентов может не иметь доступа к необходимым техническим средствам (таким как телефон или интернет), планируется увеличение клиентского потока на 20% от текущего уровня.

Таким образом, предлагаемое решение обеспечивает комплексную автоматизацию операционных процессов предприятия, что способствует повышению качества предоставляемых услуг. Перспективы внедрения данной информационной системы заключаются в её дальнейшей масштабируемости на другие подразделения, а также в возможности адаптации к потребностям смежных государственных учреждений.

Литература

1. **Акрамов Ш.Ю., Акрамов Ф.Ш.** Миграционная сфера в период цифровой трансформации государственных услуг и внедрения суперсервисов // ЦИТИСЭ, 2022. — 72 с.

А.В. Астафьев, студ.; рук. В.Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ БРАКА (НА ПРИМЕРЕ АО «ОКБ МЭИ»)

По разным причинам на предприятии может возникнуть проблема увеличения уровня бракованной продукции и снижение уровня качества. Обе эти проблемы приводят к значительному снижению эффективности производства, а также качества выпускаемой предприятием продукции.

Определение понятия брак: «Брак — продукция, отбираемая на стадии производства, не удовлетворяющая установленным требованиям.» [1].

Разработка мероприятий по снижению уровня брака на предприятии является актуальной темой, так как позволяет повысить конкурентоспособность компании, улучшить репутацию и сэкономить средства за счет уменьшения потерь от брака. Кроме того, уменьшение брака на производстве способствует повышению уровня удовлетворенности клиентов и сотрудников.

Новизна данной темы заключается в разработке и применении инновационных подходов и методов для борьбы с браком на предприятии, что позволяет улучшить производственные процессы, сократить потери и повысить эффективность работы компании.

Основная идея исследования заключается в разработке мероприятий, которые помогут снизить уровень брака продукции на предприятии. Это важно для улучшения качества продукции, увеличения конкурентоспособности предприятия на рынке, сокращения потерь и повышения прибыли.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки и внедрения мероприятий по снижению уровня брака продукции на предприятии.

Предлагаемые мероприятия по снижению уровня брака:

1. Анализ причин возникновения брака.
2. Совершенствование системы контроля качества на всех этапах производственного процесса.
3. Использование методов бережливого производства.
4. Премирование за качество (способ мотивации персонала).

Литература

1. **Ситнева Е.А.** 5 причин брака на предприятии и как с ними бороться / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gd.ru/articles/4132-proizvodstvennyy-brak>

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПАО «АК «РУБИН»

Информационное обеспечение управления позволяет выстроить связь информации с системами управления предприятием и процессом управления в целом. Многие компании по-прежнему используют устаревшие решения, которые не способны удовлетворить современные требования к скорости обработки данных, интеграции с другими системами и обеспечению безопасности информации. В результате, недостаточная эффективность информационных систем (ИС) может приводить к значительным потерям как в финансовом, так и в временном аспектах.

Целью данной работы является исследование существующей информационной системы на предприятии и разработка рекомендаций по её совершенствованию.

В данной работе предложены мероприятия по ускорению процесса заполнения дефектной ведомости на предприятии.

Дефектная ведомость — документ, составленный на основе контроля качества продукции, содержащий перечень имеющихся в них дефектов [1].

На текущий момент дефектные ведомости заполняются вручную, на бумаге, после чего информация переносится в систему сотрудником отдела качества. Предложенные мероприятия позволят перенести процесс оформления дефектной ведомости сразу в систему, используя компьютер на участках цехов предприятия. Процесс заполнения дефектной ведомости будет происходить в отдел технического контроля (ОТК) цеха, в котором обнаружился дефект. Для этого необходимо установить персональный компьютер контролёру ОТК, который формирует дефектную ведомость, настроить систему таким образом, чтобы у контролёра была возможность открыть вкладку «Заполнение дефектной ведомости», после чего необходимо будет выбрать маршрутный лист, по которому создаётся изделие, указать количество дефектных деталей, содержание дефекта, виновника, а также решение по дефекту — пропустить детали, доработать, или забраковать.

Это позволит сократить время получения информации и время принятия решения по дефекту. Помимо этого, данное решение позволит устранить проблему утери информации, ускорить процесс производства, а также увеличит общую производительность предприятия.

Литература

1. **Дефектная ведомость:** образец. [Электронный ресурс]. URL: <https://glavkniga.ru/forms/655>

С.В. Бухалин, студ.; рук. В.Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ АО «НИИГРАФИТ»

Оценивание бизнес-процессов на производстве является ключевым аспектом управления качеством и эффективностью. Актуальность данной практики особенно высока в условиях стремительно меняющегося рыночного окружения, жесткой конкуренции и растущих требований со стороны клиентов. Качество продукции не сводится лишь к итоговому результату; оно закладывается на всех этапах производственного процесса — от проектирования и разработки до производства и контроля качества.

В данной работе приведён вариант анализа и мониторинга качества бизнес-процессов на производстве на основе базовых понятий: Регламентированный показатель, Предельный показатель и фактический показатель [1].

Таблица 1. Форма мониторинга показателей бизнес-процессов

Показатель за отчетный период	Пред. П (шт)	Регл. П (шт)	Факт. П (шт)	Степень достижения Регл. П	Динамика
Количество бракованной продукции (01.08-01.09.23)	40	15	21	$15/21=0,71$	+0,12
Количество бракованной продукции (01.09-01.10.23)	40	15	18	$15/18=0,83$	

В таблице 1 приведен единичный случай расчёта введенного показателя «Степень достижения целевого показателя». Исходя из типа представления данных и того факта, что целевой показатель может быть больше, чем критический меняется формула расчёта для степени достижения целевого показателя, однако при любых условиях в формуле присутствуют только два показателя «Целевой показатель» и «Фактический показатель».

Данный метод мониторинга показателей бизнес-процессов позволит своевременно определить состояние бизнес-процессов, выделить те, что нуждаются в более оперативном вмешательстве, и вовремя предпринимать предупреждающие и корректирующие действия для уменьшения количества бракованной продукции.

Литература

1. **ГОСТ 15467-79** УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

А.Г. Бондарева, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОРГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ДВА НАСТРОЕНИЯ»)

Для улучшения работы торговой компании, необходимо следить за работой логистической системы (ЛС), т.к. она влияет на уровень себестоимости продукции. ЛС — совокупность взаимосвязанных между собой элементов компании, управляющие материальным и сопутствующими ему потоками с целью достижения задач [1]. Эффективность работы ЛС определяется: качеством, длительностью цикла и затратами [2].

Анализ действующей логистической системы на предприятии позволил выявить следующие проблемы, сформулировать способы их решения, а также экономию от изменений.

Таблица 1. Проблемы ЛС ООО «Два настроения», а также экономический эффект от предложенных мероприятий по их решению

Проблемы компании	Последствия имеющих проблем	Предложенные мероприятия	Экономия в год, млн. руб
1. Высокие транспорт. расходы	Задержки поставок, Большая нагрузка на финансовый аппарат компании	№ 1 Выбор наиболее выгодных по цене и качеству Транспортно-экспедиционных компаний	16
2. Высокая доля таможенных платежей	Рост себестоимости, Снижение уровня чистой прибыли компании	№ 2 Снижение закупочной цены на фабриках	4,9
3. Сложные и запутанные способы комм-ции	Потеря важной информации и задач, Отсутствие единых правил коммуникации внутри компании	№ 3 Исключение всех лишних медиа-хранилищ, облачных сервисов и мессенджеров. Внедрение в систему 1С. Коплексная автоматизация модуля CRM	145,1
Экономия в год ИТОГО:			166

В таблице 2 показано, что внедрение предложенных мероприятий позволит организации ООО «Два настроения» экономить до 166 млн. руб. в год.

Литература

1. **Шумаев. В.А.** Основы логистики: учеб. пособие — М.: Юридический институт МИИТ, 2021. — 314 с.
2. **Яшин А.А., Ряшко М.Л.** Логистика. Основы планирования и оценки эффективности логистических систем: учеб. пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021 — 52 с.

А.А. Левина, студ.; рук. Н.В. Князева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Правильное распределение продукции на площадях склада является залогом успеха в области логистики складирования и сбыта [1].

Эффективность функционирования складских систем во многом определяет своевременность выполнения производственных планов по объему и ассортименту продукции. В современных условиях бизнеса, когда конкуренция становится все более жесткой, оперативное управление складами становится критически важным для достижения успеха. Высокая скорость обработки товаров, оптимизация складских процессов и точность инвентаризации позволяют компаниям избежать задержек и потерь, что, в свою очередь, положительно сказывается на удовлетворенности клиентов.

Анализ складского хозяйства ООО «Дивей» позволит выявить сильные и слабые стороны предприятия [2].

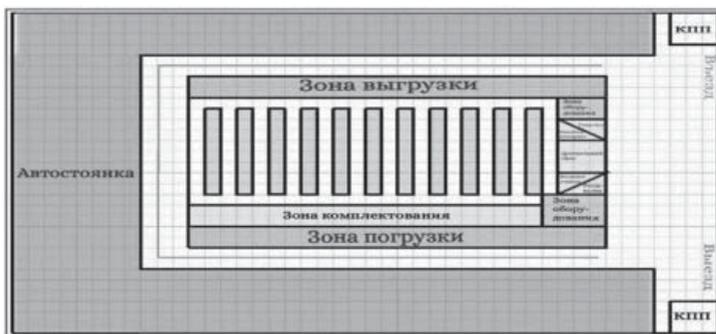


Рис. 1. Складское хозяйство ООО «Дивей»

Оптимизация с помощью внедрения новой техники для погрузки и хранения позволит увеличить полезную площадь склада ООО «Дивей», а также уменьшить количественные и качественные издержки компании (см. таблица 1).

Таблица 1. Показатели эффективности совершенных мероприятий

Показатель	Формула	Значение
K_s	$S_{\text{пол}} / S_{\text{общ}}$	55%
Годовой экономический эффект	$C = C_0 - C$	10 297 292 руб.
Период окупаемости проекта	$T_{\text{окуп.}} = \text{КП} / \Delta C$	$\approx 1,75$ года

Литература

1. **Курганов, В.М.** Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров / В.М. Курганов. — М.: Книжный мир, 2021. — 432 с.
2. **Манукян Д.В.** Автоматизация склада от А до Я / Д.В. Манукян // Логистика. — 2020. — № 12. — С. 6–8.

*В.А. Кочарян, Л.Т. Казарян, студенты;
Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВНЕДРЕНИЕ ГИБКОЙ МЕТОДОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВО

В условиях быстро меняющегося рынка и растущих требований потребителей, внедрение гибкой методологии разработки (Agile) в производственные процессы становится все более актуальным. Гибкие методологии позволяют компаниям адаптироваться к изменениям, улучшать качество продукции и повышать эффективность работы.

Внедрение гибких методологий разработки в производственную среду может значительно повысить эффективность процессов, улучшить качество продукции и ускорить вывод новых продуктов на рынок. Вот несколько шагов для успешного внедрения:

- Анализ текущего состояния производства
- Формирование команды
- Обучение и подготовка
- Выбор подходящей методологии
- Планирование и внедрение пилотного проекта
- Регулярные встречи и ретроспективы
- Автоматизация и инструменты
- Мониторинг и оценка результатов
- Масштабирование и адаптация

Компания Bosch, будучи одним из лидеров в области инженерии и технологий, активно использовала Agile-подход для повышения эффективности своего бизнеса. Рассмотрим ключевые аспекты этого процесса и результаты, которых удалось достичь:

- Время разработки новых изделий было уменьшено на 25–30%
- Благодаря регулярному тестированию и обратной связи от клиентов, качество выпускаемых продуктов увеличилось на 10–15%.
- Производительность команд увеличилась на 15–20% за счёт оптимизации процессов и сокращения времени на выполнение задач.
- Общая экономия средств составила около 5–7% за счёт снижения затрат на разработку и производство

Внедрение Agile в производство способствует повышению производительности, улучшению качества продукции и ускорению вывода новинок на рынок.

Литература

1. Даррелл Ригби, Сара Элк, Стив Берез. Agile, который работает. Как правильно трансформировать бизнес во времена радикальных перемен — Москва: Эксмо, 2022. — 320 с.

*В.А. Кочарян, Л.Т. Казарян, студенты;
Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ВСЕОБЩЕГО УХОДА ЗА ОБОРУДОВАНИЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

В современном производственном процессе поддержание высокого уровня функциональности и надежности оборудования является ключевым фактором для достижения конкурентоспособности и успешности предприятия. Метод всеобщего ухода за оборудованием (ТРМ) играет важную роль в этом контексте. Он оказывает значительное влияние на эффективность предприятия благодаря своей комплексной направленности на улучшение производственных процессов и поддержание оборудования в оптимальном состоянии. Вот несколько ключевых аспектов влияния этого метода:

- Повышение надежности оборудования;
- Увеличение общей эффективности оборудования (ОЕЕ);
- Снижение затрат на ремонт и обслуживание;
- Улучшение качества продукции;
- Оптимизация использования ресурсов;
- Участие персонала в процессе улучшения;
- Безопасность труда;
- Экологическая устойчивость.

Одним из ярких примеров успешного внедрения ТРМ является опыт компании Toyota Motor Corporation. Благодаря применению ТРМ, Toyota добилась значительных успехов:

- Частота незапланированных остановок производства снизилась на 30%, что привело к увеличению общего времени работы оборудования;
- Затраты на ремонт и обслуживание сократились на 20% благодаря профилактике и раннему выявлению проблем;
- Количество дефектных изделий уменьшилось на 15%;
- Общая эффективность оборудования (ОЕЕ) увеличилась на 10%, что позволило производить больше автомобилей без увеличения капитальных вложений.

Таким образом, ТРМ имеет комплексное положительное воздействие на эффективность предприятия. Он улучшает производственные показатели, снижает затраты, повышает надежность и безопасность оборудования, а также способствует вовлечению персонала в процессы улучшений.

Литература

1. **Куприянова Т.М., Растимешин В.Е.** Система ТРМ (англ.) — более четверти века в России. Японская теория. Российская практика. Опыт Консультационного сообщества «ТАИР» / М.: ООО «Буки Веди», 2019. — 644 с.

В.А. Кочарян, студ.; Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ СИТУАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ДЛЯ АЛМАЗАДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В условиях глобальной экономики конкуренция среди компаний, работающих в сфере добычи алмазов, постоянно возрастает. Для поддержания конкурентоспособности необходимо непрерывно улучшать производственные процессы, снижать издержки и повышать качество продукции. САЦ позволяет достичь этих целей благодаря комплексному анализу данных и оперативному реагированию на изменения внешней и внутренней среды.

Создание САЦ может значительно повысить эффективность алмазодобывающего предприятия за счет нескольких ключевых факторов:

- Оптимизация производственных процессов;
- Улучшение логистики и управления цепочками поставок;
- Повышение безопасности труда;
- Управление рисками и принятие решений;
- Экономия ресурсов и снижение затрат;
- Обеспечение экологической устойчивости;

Внедрение ситуационно-аналитических центров играет ключевую роль в развитии организаций в любой сфере. На примере ПАО «МОЭСК» можно увидеть, как меняются показатели деятельности организации после внедрения САЦ.

Таблица 1. Сравнительные данные ПАО «МОЭСК» до и после внедрения САЦ

Показатели	Показатели за 2016 г.	Показатели за 2018 г.
Отключение электросетевых объектов	88 ВЛ 6–10 кВ, ед.	71 ВЛ 6–10 кВ, ед.
Отключение потребителей	50,6 тыс. чел.	36,7 тыс. чел.
Среднее время восстановления электроснабжения	9 ч. 22мин.	2 ч. 58 мин.

В целом, создание ситуационно-аналитического центра является стратегическим шагом к повышению эффективности работы компании, занимающейся добычей алмазов. Он позволяет улучшить управление производственными процессами, снизить риски, экономить ресурсы и обеспечить устойчивое развитие бизнеса.

Литература

1. **Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Е.В. Новикова.** Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития / М.: МедиаПресс, 2011. — 336 с.

Д.А. Щербakov, студ.; рук. В.Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ИНТЕГРИРОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

На сегодняшний день, в современных условиях быстроменяющегося рынка, для успешного развития бизнеса остается актуальным высокий уровень организации. Безусловно в этом поможет гибкость, прозрачность и открытость, клиентоориентированность как на внешних потребителей, так и на внутренних, а также демонстрация ценностей согласно грамотно выстроенной политики и рационально выстроенные бизнес-процессы [1].

Железнодорожные грузовые и пассажирские перевозки были и остаются основной экономической развития промышленности России. Обеспечение электрификациями и электроснабжением железных дорог России осуществляет Московский энергомеханический завод структурное подразделение Дирекции по капитальному ремонту и реконструкций объектов электрификации и электроснабжения филиала ОАО «РЖД».

Деятельность предприятия направлена на производство продукции в области электрификации и энергоснабжения для нужд железнодорожного транспорта.

В работе проведен анализ процессов передвижения материально-технических ресурсов в цепи поставок внутренними поставщиками при производстве изоляторов секционных постоянного и переменного тока ИС1М. На основе концепции «Бережливого производства», с помощью карт создания потока ценности выявлены потери времени при производстве.

В целях совершенствования процессов управления цепями поставок и увеличения объемов производства предложены организационно-технические мероприятия во внутренней цепи поставок производства изоляторов секционных ИС1М:

- исключение процессов, не приносящих ценности для потребителей;
- внедрение системы Канбан.

По расчетам, предложенные мероприятия позволили сократить время полного цикла изготовления на 2%, что позволило увеличить объемы производства изоляторов на 6%.

Литература

1. Учитесь видеть бизнес-процессы: Практика построения карт потоков создания ценности / Майкл Ротер, Джон Шук; Перю с англ, 2-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 144с.
2. Холдинг ОАО «РЖД» подведение итогов 2023 года. [Электронный ресурс] URL <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=29168787>

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 33

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Industrial electric power engineering

Председатель секции: к.т.н., доцент Цырук Сергей Александрович

Секретарь секции: Матюнина Юлия Валерьевна

В.Д. Битней, асп.; В.Ю. Ульянов, студ.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИК ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГХА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Метод анализа растворенных в масле газов относится к одному из наиболее информативных способов раннего обнаружения дефектов в силовых маслонаполненных трансформаторах. На текущий момент заключение об их состоянии составляется на основе методик интерпретации результатов газохроматографического анализа (ГХА) по РД 153-34.0-46.302-00. При этом существуют ситуации, когда данный документ не дает точных результатов анализа. В связи с этим предлагается использовать несколько методик интерпретации результатов газохроматографического анализа для получения уточненных выводов.

Цель исследования состоит в обосновании необходимости применения различных методик интерпретации результатов газохроматографического анализа масла силовых трансформаторов.

Для анализа газовых включений были рассмотрены: методика соотношения Роджерса, соотношения Дорненбурга, треугольника Дюваля, методика стандарта МЭК 60599, методика ETRA, а также методика РД 153-34.0-46.302-00, принятая в РФ. Данные методики применяются в энергетических компаниях РФ, таких как ПАО «Россети МР», ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Мосэнерго».

В ходе исследования был разработан алгоритм комплексного применения описанных выше методик интерпретации результатов ГХА и формирования обучающих выборок.

Разработанный алгоритм содержит три функциональных блока. Блок I предназначен для формирования диагностической статистики в процессе эксплуатации рассматриваемого трансформаторного оборудования. Блоки II и III служат для выполнения расчетов в целях анализа результатов ГХА с помощью вышеперечисленных методик, непосредственной идентификации параметров текущего и прогнозного состояний ТР и формирования предложений по мероприятиям для нивелирования рисков отказа оборудования.

Эффективность предлагаемого алгоритма заключается в возможности создания системы предупреждения отказов силового трансформатора, обеспечивающей повышение надежности контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора за счет раннего выявления в нем зарождающихся неисправностей благодаря непрерывному контролю концентрации растворенных в масле газов.

А.А. Дюдяков, асп.; рук. С.А. Янченко, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ФИЛЬТРОМ С РЕГУЛИРУЕМОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, УСТОЙЧИВЫЙ К ИСКАЖЕНИЯМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Безтрансформаторные 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 и широкие возможности регулирования характеристик подавления. В то время как применение ПФ с высокой добротностью и емкостью может ограничиваться для предотвращения перекомпенсации при недостаточном уровне реактивной мощности со стороны нагрузки.

Представленные алгоритмы управления для безтрансформаторных ГФ [1] не обеспечивают динамического регулирования уровня реактивной мощности или являются неустойчивыми к искажениям кривой напряжения сети [2] т.к. реализованы на основе $p-q$ регулирования [2].

Вместо распространённого подхода к вычислению опорного тока, основанного на фильтрации ВГ в системе $\alpha\beta$ координат, предлагается алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана [3], который обеспечивает быструю и точную идентификацию ВГ с устойчивостью к искажениям напряжения сети и регулированием уровня реактивной мощности ГФ.

При помощи моделирования в среде MATLAB-Simulink подтверждена эффективность работы предложенного алгоритма управления на основе фильтра Калмана в условиях искаженного напряжения сети с возможностью регулировать уровень реактивной мощности.

Литература

1. **W. Tangtheerajaronwong, T. Hatada, K. Wada and H. Akagi**, “Design and Performance of a Transformerless Shunt Hybrid Filter Integrated Into a Three-Phase Diode Rectifier,” in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 5, pp. 1882–1889, Sept. 2007, doi: 10.1109/TPEL.2007.904166.
2. **C.-S. Lam, M.-C. Wong, W.-H. Choi, X.-X. Cui, H.-M. Mei and J.-Z. Liu**, “Design and Performance of an Adaptive Low-DC-Voltage-Controlled LC-Hybrid Active Power Filter With a Neutral Inductor in Three-Phase Four-Wire Power Systems,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 6, pp. 2635–2647, June 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2276037.
3. **Dyudyakov, A. Yanchenko, S. (2024)**. A Robust Control Algorithm for the Hybrid Power Filter Operating Under Real Grid Conditions. 226–233. 10.1007/978-3-031-51127-1_22.

А.В. Микушин, студ.; рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИИ BIM ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Использование BIM технологий для специалиста в электротехнического отдела позволяет повысить качество проекта, увеличить эффективность работы, снизить риски и затраты, а также уменьшить сроки выполнения работ сократить сроки согласования и заказчиками, что показывает актуальность технологии для проектов электроснабжения потребителя..

В 2021 году 5 марта вышло 331 Постановление Правительства Российской Федерации обязывающее с января 2022 года все организации выполняющие подготовку проектной документации на объекты финансируемые с привлечением бюджетных средств выполнять ведение информационной модели объекта строительства, реконструкции и капитального ремонта на всех этапах жизненного цикла от проектирования до утилизации.

Согласно модели зрелости Baw-Richards, существует концепция уровней зрелости BIM.

Рассмотрим отечественные САПР-системы.

В первую очередь самую новую отечественную разработку — Renga прямой аналог Revit, позволяет проектировать разделы: архитектура, конструктив, вентиляция и отопление, водоснабжение и водоотведение, электрика.

Nanoscad — это другой путь BIM, когда проектировщик сосредоточен на проектировании, а не на моделировании.

Был проведен анализ достоинств и недостатков отечественного ПО определенных разделов проекта: светотехнический расчет, электротехнический расчет, прокладка трасс и лотков, принципиальные схемы, базы данных оборудования, молниезащита и др.

Проведенный анализ отечественного ПО показывает о срочной необходимости разработки стандартов нормативных документов как для разработчиков ПО BIM-технологий, так и проектных организаций для выбора наилучших решений позволяющих сократить процесс разработки проектной документации и возможности ее автоматической проверки.

Литература

1. **Постановление Правительства РФ** от 5 марта 2021 г. N 331.
2. **Саленик И.И.** BIM-технологий в энергетике // Актуальные проблемы энергетики, 2016. — С. 365–366.
3. **Официальный сайт** компании «Нанософт» — Электронный ресурс дата обращения 10.09.2024.
4. **Renga** — российская BIM-система для комплексного проектирования — Электронный ресурс дата обращения 10.09.2024.

Н.А. Немчинов, студ.;
рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАСКЛАДКИ КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ ЛОТКАХ

Формирование сечения с раскладкой кабельных линий в лотках необходимо на стадиях разработки проектной и рабочей документации. Применение программного алгоритма, позволяющего автоматически формировать сечения, обеспечит сокращение трудозатрат

при проектировании систем электроснабжения крупных и сложных объектов.

В работе был разработан алгоритм, основанный на разделении крупных и мелких кабелей, реализованный в Microsoft Excel с помощью интегрированного языка программирования Visual Basic for Applications, позволяющий проводить расчёт геометрических параметров лотка в зависимости от кабелей групп, которые в нём расположены. Автоматическая трассировка сечения заполненного лотка реализуется в САПР, что позволяет получить информацию в формате хранения проектных данных (DWG).

Разработанная программа учитывает актуальные нормы и требования к проектированию кабельных систем. Для кабелей, сечения жил которых превышает 16 мм^2 , применяются коэффициенты, определяющие расстояние между группами, проложенными совместно в одном лотке, согласно [1]. Для кабелей сечением менее 16 мм^2 применяются требования, описанные в [2].

Результатом работы программы является чертёж сечения участка лотковой трассы, заполненной кабелями (Рисунок 1), который является элементом тома рабочей документации или может быть использован при подготовке проектной документации для подтверждения корректности подбора кабельных лотков.

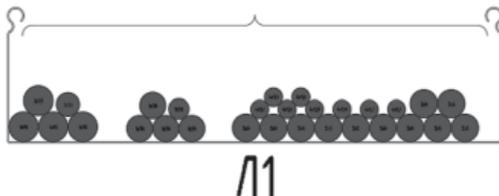


Рис. 1. Результат работы программы

Литература

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Москва: ЭНАС, 2023. 896 с.
2. ГОСТ Р 50571.5.52—2011/МЭК 60364-5-52:2009. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Общие требования. Москва: Стандартинформ, 2013. 16 с.

Н.А. Немчинов, асп., Д.С. Алексеенков, Н.А. Лаптев, студ.;
рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ КАТКОНА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

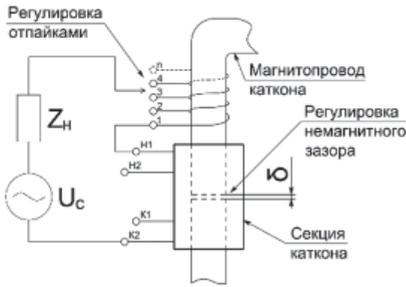


Рис. 1. Фрагмент каткона с комбинированным регулированием

печивает достаточной точности настройки и не позволит регулировать параметры устройства в процессе его эксплуатации.

В данной работе предложена реализация комбинированного регулирования, сочетающего в себе регулировку посредством изменения количества отпаек под нагрузкой и изменением немагнитного зазора (рисунок 1).

Алгоритм работы рассматриваемого механизма можно описать следующим образом: при изменении ёмкости или индуктивности каткона, отпайками настраивается ближайшее к резонансному значение индуктивности, а с помощью регулировки величины немагнитного зазора происходит точная настройка необходимого параметра. Такое техническое решение необходимо при применении каткона в качестве резонансного токоограничивающего устройства, поскольку для уменьшения влияния на сеть в нормальном режиме работы и обеспечения эффективного токоограничения в аварийном режиме работы, каткон должен иметь точную настройку на резонанс.

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.

Ю.Ю. Захаров, асп.; рук. Д.В. Михеев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕМКОСТЕЙ ПРОВОДНИКОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

С конструктивным своеобразием высоковольтной трехфазной коаксиальной линии приобретаются особенности в определении ее емкости. Несимметрия проводников приводит к емкостным асимметриям, которые в свою очередь при высоких частотах и напряжениях способствуют емкостным перенапряжениям.

В процессе исследования емкостных характеристик такая линия рассматривается с точки зрения ее геометрической конфигурации [1]. Емкость в таких системах зависит от расстояния между проводниками, радиуса каждого слоя и характеристик используемых изоляционных материалов рис. 1.

Целью исследования является разработка методики определения емкостей проводников высоковольтной трехфазной коаксиальной линии. Сложность заключается в необходимости точного отображения физического поведения системы при разнообразных эксплуатационных условиях. Результаты таких исследований имеют практическое значение для разработки и совершенствования высоковольтных трехфазных коаксиальных линий повышенной частоты.

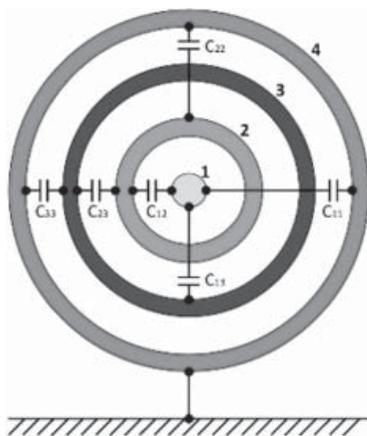


Рис. 1. Схема высоковольтной трехфазной коаксиальной линии для расчета емкостей

Литература

1. Yuri Zakharov, Dmitry Mikheev 2023 Research on the transmission of electric power via the increased frequency coaxial line to a remote low-power load (consumer). E3S Web of Conf. 463 03008 DOI: 10.1051/e3sconf/202346303008

М.Д. Харабурова, асп.;
рук. Е.Н. Рыжкова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ КНР

Динамичное развитие экономики и высокотехнологичных производств на территории КНР влечет за собой активный рост промышленных и городских сетей, что приводит к увеличению количества кабельных линий, а следовательно, и величины емкостного тока при возникновении однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Выбор режима заземления нейтрали распределительной сети среднего напряжения будет определяться надежностью системы электроснабжения, допустимым уровнем перенапряжений при ОЗЗ, селективным срабатыванием релейной защиты, обеспечением электробезопасности и экономическим фактором.

Заземление нейтральной точки электрической системы может быть эффективным в случае использования низкоомного резистора и появления при ОЗЗ тока замыкания большой величины, который требует немедленного отключения поврежденной линии, а также неэффективным с малым током замыкания и возможностью сохранения аварийного участка в работе в течение некоторого периода времени. Неэффективное заземление реализуется режимом изолированной или компенсированной нейтрали с подключением дугогасящего реактора (ДГР).

Определение необходимого режима нейтрали будет напрямую зависеть от значений емкостного тока замыкания сети, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Критерий выбора режима заземления нейтрали

Режим заземления нейтрали	Величина емкостного тока ОЗЗ I_{CE}
Изолированная нейтраль	$I_{CE} < 10A$
Компенсированная нейтраль	$10A \leq I_{CE} \leq 150A$
Заземление через низкоомный резистор	$150A < I_{CE}$

На текущий момент наибольшее распространение в сетях 10–35 кВ КНР получил режим заземления с помощью ДГР, при этом более 90% применяемых реакторов являются реакторами типа ASC, настройка которых в резонанс осуществляется с помощью переключения конденсаторных элементов различного номинала без вывода данного оборудования из работы. Однако, в крупных городах, таких как Пекин, Шанхай, Гуанчжоу предпочтение отдается заземлению через резистор, позволяющий обеспечить стабильную и надежную работу электросети.

Литература

1. **Jun L. et al.** Analysis and suggestion on neutral grounding mode for shanghai distribution network considering power supply reliability // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2019. — Т. 486. — №1. С. 012017.

А.Д. Бугаев, студ.; рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Использование алгоритмов машинного обучения в управлении электрических сетях потребителя позволяет повысить точность прогнозирования, при определении ценовой категории покупки электроэнергии, что позволяет потребителю снизить себестоимость продукции.

С развитием умных энергетических сетей (Smart Grids), искусственный интеллект (ИИ), особенно глубокое машинное обучение, стал ключевым инструментом для анализа больших объемов данных в реальном времени и обеспечивает оперативное принятие решений и повышает надежность работы СЭС.

Для повышения энергоэффективности и надежности применяются такие методы, как градиентный бустинг (GBDT) и нейронные сети. Они позволяют:

- Прогнозировать аварийные ситуации на основе исторических данных и текущих условий.
- Оптимизировать распределение энергии, минимизируя потери и затраты.
- Учитывать долгосрочные зависимости в данных с использованием рекуррентных нейронных сетей (LSTM, GRU).

Ситуационное управление в энергетике базируется на анализе текущих условий и выборе управляющих воздействий для минимизации рисков, позволяет прогнозировать угрозы, принимать превентивные меры и обеспечивать безопасность энергосистем.

Для успешного внедрения ИИ и ситуационного управления необходимы:

- Дальнейшая разработка нормативной базы и стандартов для применения ИИ в энергетике.
- Повышение квалификации специалистов для работы с ИИ-технологиями.
- Увеличение инвестиций в развитие цифровой инфраструктуры энергосистем.

Применение ИИ и ситуационного управления уже сейчас показывает значительные преимущества, включая повышение эффективности, снижение аварийности и улучшение устойчивости энергосетей.

Литература

1. **Поспелов, Д.А.** Ситуационное управление. Теория и практика. — М.: Наука.— Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 288 с.

К.А. Бейсенова, студ.;
рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ БЫТОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Современное развитие характеризуется увеличением мощностей нагрузок на предприятиях и ростом коммунально-бытовых нагрузок, что приводит к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения. Это, в свою очередь, снижает эффективность работы и сокращает срок службы систем электроснабжения и их электроприемников. Нерациональное распределение большого числа несимметричных и нелинейных потребителей усугубляет проблему, вызывая ухудшение качества и создавая несимметрию напряжений в сети и на зажимах оборудования. Рост несимметрии увеличивает потери в энергетическом оборудовании при передаче и потреблении, а также сокращает его срок службы. Исследование показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и поиск наиболее эффективных способов их улучшения остаются актуальными задачами в электроэнергетике.

Было проведено исследование на основе отчетных данных сетевых организаций по качеству электрической энергии и выделены основные причины нарушения КЭ у потребителя: неравномерное распределение нагрузки по отдельным фазам, несоблюдение режима потребления максимально допустимой мощности, использование электроустановок с нелинейной вольт-амперной характеристикой, резко переменная нагрузка.

На основании полученных выводов были предложены следующие меры по улучшению качества электрической энергии:

- Оптимизация распределения нагрузки по фазам.
- Установка компенсирующих устройств для уменьшения влияния нелинейных нагрузок.
- Применение современных фильтров и стабилизаторов напряжения.
- Разработка программ управления энергопотреблением, учитывающих динамические изменения нагрузки.

Эти мероприятия позволят снизить негативное воздействие на систему электроснабжения, повысить ее надежность и продлить срок службы оборудования.

Литература

1. **Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 28.08.2023 № 690** «Об утверждении требований к качеству электрической энергии, в том числе распределению обязанностей по его обеспечению между субъектами электроэнергетики и потребителями электрической энергии».
2. **ГОСТ 32144-2013** «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Р.Б. Дубаков, студ., С.А. Кондакова, студ.;
рук. Д.В. Михеев, к.т.н., д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАБОТА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА (БАВР) В ПИТАЮЩИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Повсеместная электрификация привела к зависимости работы предприятия и иной деятельности человека от электроснабжения, соответствующему современным стандартам качества и надежности. Бесперебойность — одно из основных свойств электроснабжения объектов, не терпящих порой даже кратковременного отключения электроэнергии. Это объекты здравоохранения (реанимационные), ЦОДы, объекты критической инфраструктуры, системы безопасности, промышленные предприятия и иные объекты и системы, нарушение электроснабжения которых является угрозой для жизни и здоровья человека, а также приведет к большим экономическим или экологическим потерям.

В резервировании электроприемников первой или особой категории электроснабжения применяются быстродействующие автоматические вводы резерва, цикл работы которых должен осуществляться сразу после исчезновения напряжения на шинах питания. На сегодняшний день промышленностью выпускаются БАВР, время реакции на аварийную ситуацию которых составляет порядка 40 мс с учетом переключения. Относительно периода промышленной частоты, малое время срабатывания БАВР требует согласования работы устройств РЗА и автоматики потребителя. Проводимые исследования работы БАВР направлены на:

- обеспечения требуемого быстродействия;
- выявление ошибочного или ложного срабатывания;
- выявление неправильного (нерабочего) алгоритма работы;
- разработку инструкций по настройкам БАВР и работы автоматики.

На основании результатов исследований создаются работоспособные модели резервирования питающих сетей среднего напряжения; создаются рабочие типовые алгоритмы настройки автоматики; создаются обучающие инструкции по работе с БАВР.

Литература

1. «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) 7-ое издание.

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

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ КУБЫ

В структуре электропотребления в Республике Куба по направлениям использования наблюдается явное преобладание бытовых потребителей, на долю которых в настоящее время приходится более 60% от суммарного конечного потребления.

Одновременно на фоне дефицита располагаемой мощности электростанций имеют место существенные коммерческие потери электроэнергии, связанные с нерациональной организацией сбытовой деятельности региональными электроэнергетическими компаниями:

- недостаточность или полное отсутствие технических средств съема показаний счетчиков электроэнергии. По этой причине требуется большой штат инспекторов, ежемесячно выполняющих контроль показаний и технического состояния узлов учета электроэнергии. Отсутствие свободного доступа к этим узлам, большие площади обслуживаемых территорий создают условия для возникновения безучетного электропотребления;
- дефицит квалифицированного персонала. Большой объем «механической работы» на фоне низкого уровня заработной платы является причиной существенной текучки кадров. Это затрудняет процесс повышения квалификации сотрудников, не способствует повышению престижа профессии со всеми вытекающими последствиями;
- сложный алгоритм оплаты потребителями электроэнергии. Полученные инспекторами показания счетчиков электроэнергии направляются в офис компаний, поэтому потребитель как минимум дважды вынужден его посетить для получения счета и для документального подтверждения его оплаты.
- отсутствие доверия к потребителю со стороны электроэнергетической компании. Избежать многих обозначенных проблем можно, если процесс снятия показаний счетчиков и передачу их в офис возложить на плечи самого потребителя. За инспекторами остается лишь функция контроля за правильностью предоставляемых сведений, который разумно осуществлять, например, один раз в 6 месяцев.

Для реализации предлагаемых решений требуется разработка соответствующих методических и инструктивных материалов. Разработку таковых целесообразно осуществлять в Центре целевой подготовки МЭИ на базе центра повышения квалификации сотрудников Энергетического союза Кубы UNE.

*В.В. Шаржанов, Н.К. Карепов, А.В. Востоков, студ.;
рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

На сегодняшний день провалы напряжения сильно влияют на работу предприятий. Для изучения этих явлений разработаны экспериментальные стенды на базе автотрансформаторов, а также твердотельных реле с управлением на базе ПЛК, которые позволяют анализировать и фиксировать влияние одно-, двух- и трёхфазных провалов напряжения.

Проведено исследование критического времени перерыва электроснабжения для резервированных систем с использованием терминалов релейной защиты и автоматики (РЗА) и устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). Терминалы РЗА обеспечивают быстрое обнаружение и устранение аварийных ситуаций, включая короткие замыкания и перегрузки, а также автоматическое восстановление питания после устранения причин нарушений. Их применение значительно сокращает время реакции системы на сбой, минимизируя влияние провалов напряжения на работу оборудования. УКРМ, в свою очередь, компенсируют реактивную мощность в сети, что способствует стабилизации напряжения, снижению потерь энергии и повышению общей энергоэффективности системы. Комплексное использование РЗА и УКРМ в сочетании с попарно-параллельной работой трансформаторов подстанций [2] позволяет значительно повысить надежность электроснабжения. Результаты позволяют минимизировать издержки и улучшить надёжность питания ответственных потребителей.

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.

*Д.Л. Распутин, студ.;
рук. Ю.Л. Жуковский, д.т.н., доц., А.Д. Булдыско, к.т.н., асс.
(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II)*

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Эффективная эксплуатация электромеханического оборудования на промышленных предприятиях обеспечивает стабильность и безопасность производства. Ключевую роль в этом играет техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), направленные на повышение надежности, сокращение простоев и снижение экономических потерь от аварийных ситуаций.

Традиционные подходы к ТОиР, такие как плано-предупредительное обслуживание, предполагают выполнение работ в заранее установленные сроки с оставкой оборудования, что влечёт за собой высокие затраты и потери производительности. Кроме того, они не учитывают жизненный цикл оборудования, что ведёт к неоптимальным расходам. Это обуславливает переход к методам ТОиР, основанным на фактическом состоянии, и в перспективе к предсказательному ТОиР.

В исследовании представлена система расчета ТОиР асинхронного двигателя (АД), основанная на оценке стоимости жизненного цикла оборудования.

$$\text{СЖЦЭ}_{\text{ЭМО}} = -I - (E_M + E_{M_{TC}} + E'_L + E'_{L_{TC}}) \cdot p_E \cdot k_{p1} - C_{MRO} \cdot k_{p2} - (E_{CO_2} + E_{CO_2_{TC}}) \cdot p_{CO_2} \quad (1)$$

где I — первоначальные инвестиции; E_M, E'_L — потребленная двигателем энергия механическая и электрическая; $E_{M_{TC}}, E'_{L_{TC}}$ — дополнительное потребление механической и электрической энергии с учётом потерь на ТС; p_E — стоимость электроэнергии; C_{MRO} стоимость обслуживания; k_{p1}, k_{p2} — коэффициенты кумулятивной приведенной стоимости при изменении цены на электроэнергию и обслуживание соответственно; E_{CO_2}, p_{CO_2} — эквивалентное количество и стоимость выбросов CO_2 ;

Предложенная формула расчёта, позволяет принимать обоснованные решения о целесообразности применения подхода ТОиР на основе раннего обнаружения повреждений для конкретного оборудования.

Литература

1. **Burgos Payán, M.** Techno-economic optimal power rating of induction motors // Applied Energy. — 2019. — Т. 240. — С. 1031-1048.
2. **Козырук А.Е., Кривенко А.В., Жуковский Ю.Л.** Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования, работающего в тяжелых условиях, по электрическим параметрам // Записки Горного института. — 2011. — Т. 192. — С. 162-167.

Секция 34

ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ

Energy of heat technologies

Председатель секции: к.т.н., доцент Степанова Татьяна Александровна

Секретарь секции: к.т.н., доцент Строгонов Константин Владимирович

*М.А. Кислицын, асп.; С.С. Орлова, студ.;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЛИЧИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В НЕФТИ, НЕФТЕПРОДУКТАХ И ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКАХ

Перспективной темой в нефтеперерабатывающей промышленности является утилизация тяжелых нефтяных остатков. Россия считается третьей, после Канады и Венесуэлы, страной по объемам тяжелых углеводородных ресурсов. По оценкам компании Schlumberger, запасы тяжелой нефти в РФ составляют 13,4 млрд. тонн, а природных битумов — 33,4 млрд. тонн [1]. В то же время концентрация ценных металлов в тяжелых углеводородных фракциях сравнима, а иногда и превосходит минимальное содержание некоторых металлов в традиционном промышленном рудном сырье. По этой причине тяжелые остатки нефтепереработки возможно рассматривать как полноценный источник переходных металлов [2]. В настоящее время активно разрабатываются подходы по деметаллизации тяжелых нефтяных остатков. Дополнительный источник таких металлов, как никель, ванадий и молибден, а также ряда других, позволит повысить рентабельность предприятия при одновременном снижении наносимого окружающей среде вреда.

Разработка технического решения для извлечения металлов из тяжелых остатков нефтепереработки невозможна без анализа химических свойств нефти, в частности состава присутствующих металлов и доли их содержания. Для подготовки сырья к исследованию требуемых свойств будут использованы стенды, расположенные на кафедре ИТНО НИУ «МЭИ»: аппарат ТЛ-ПХП для определения коксуемости тяжелого остатка, электропечь фирмы Nabatherm NT 08/17 для определения зольности топлива [3]. Полученный зольный остаток подвергается спектроскопии с целью фиксации металловключений.

Литература

1. **Сажин В.В.** Трудноизвлекаемые запасы и «тяжелые нефти» России / Сажин В.В., Селдинас И., Сажин В.Б. // *Успехи в химии и химической технологии.* — 2008. — Т. 22. — № 12 (92). — С. 56–68.
2. **Гатиятуллин И.Р.** Разработка методики количественного химического анализа ванадия и никеля в нефти сырой и нефти рентгенофлуоресцентным методом / Гатиятуллин И.Р., Бахтеев С.А., Юсупов Р.А. // *Вестник Казанского технологического университета.* 2014. № 10.
3. **Валинеева А.А.** Экспериментальное исследование свойств нефти и нефтепродуктов: практикум / Валинеева А.А., Петин С.Н., Попов С.К. // НИУ «МЭИ». — Москва: Изд-во МЭИ, 2024. — 88 с.

В.А. Мурашов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС П-ОБРАЗНОЙ ВАКУУМ-КАМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

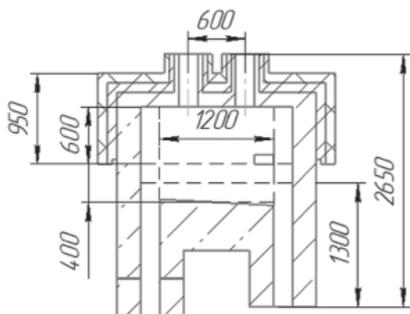


Рис. 1. Эскизный чертёж вакуум-камеры непрерывного действия П-образного типа

Один из способов снижения энергоёмкости производства стали является переход на непрерывный процесс производства, на текущий момент разрабатывается САНД (сталеплавильный агрегат непрерывного действия), который включает в себя агрегат непрерывного жидкофазного восстановления железа углеродводородной смесью [1] и зону внепечной непрерывной обработки стального расплава с П-образной вакуум-камерой (рис. 1) [2].

В следствие тепловых потерь через ограждающие конструкции в ходе дегазации стального расплава, продувки аргоном и эндотермических реакций легирующих веществ, его температура снижается. Однако для сохранения высокого качества конечной продукции и соблюдения технологических регламентов температура расплава перед его разливкой на установке непрерывной разливки стали должна быть строго соблюдена. Для поддержания необходимой температуры может применяться перегрев в реакторе восстановления или подогрев расплава в зоне внепечной обработки.

Определение изменения температуры расплава в процессе дегазации аналитическим путём (для разрабатываемого вакууматора непрерывного действия изменение температуры составляет менее 5°C), и построение температурных полей в вакуум-камере посредством численного моделирования в среде Ansys, является важной задачей, которая позволяет определить теплотери через футеровку и температуру расплава на перед его разливкой.

Литература

1. Патент № 2815145 Российской Федерации МПК С21В 13/00 Агрегат восстановления железа / Строгонов К.В., Львов Д.Д., Борисов А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»; №2023117098; опубл. 11.03.2024, Бюл. № 8.
2. Патент № 2806948 Российской Федерации МПК С21С 7/10 Агрегат непрерывного вакуумирования стали / Строгонов К.В., Мурашов В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»; № 2023108598; опубл. 08.11.2023, Бюл. № 31.

А.К. Бастынец, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГОРЯЧИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ НОВОГО СПОСОБА ТУШЕНИЯ КОКСА

В настоящее время, установки сухого тушения кокса (УСТК), широко распространены, благодаря своим преимуществам. Однако главным недостатком метода сухого тушения кокса является его «угар» [1]. Основной причиной возникновения угара кокса является наличие кислорода в составе циркулирующего газа, приводящего к окислению углерода кокса. Для уменьшения угара предлагается использовать в качестве циркулирующего теплоносителя инертный газ состоящий исключительно из азота N_2 .

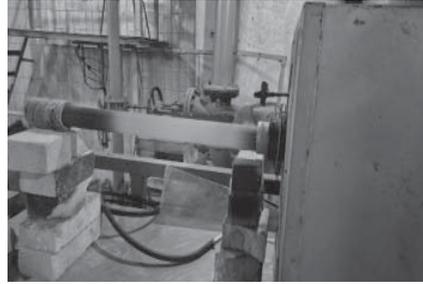


Рис. 1. Экспериментальный стенд

Минимальные расчетные значения угара, приводимое в литературе составляет от 0,3% до 0,8% [2]. В качестве верификации вышеописанного меро-приятия создан экспериментальный стенд (рис. 1). Стенд включает в себя печь, стальную трубу, баллон углекислого газа для охлаждения печи, баллон азота для охлаждения угля, ротаметр измеряющий расход азота, термопары для измерения в трех позициях температуру рабочей области, древесный уголь в качестве рабочего тела, заменяющего кокс, персональный компьютер с встроенным программным обеспечением для сбора динамических значений измеряемых температур, весы и секундомер.

Последовательность проведения эксперимента состоит из двух этапов нагрева и охлаждения стальной трубы в печи. На первом этапе заранее взвешенный уголь, находящийся в полости стальной трубы, нагревается в азотной среде до $1000^{\circ}C$, после чего трубу вынимают из печи, исключая тем самым побочную передачу остаточной теплоты от печи к трубе, при этом не прекращая непрерывную продувку азотом. Путем регулирования его расхода, обеспечивается охлаждение находящегося внутри трубы угля. При достижении показаний термопары, находящейся в наиболее горячей части трубы, на уровне $150-180^{\circ}C$, записывается время тушения и взвешивается охлажденный уголь, затем сравнивается начальная масса угля и после тушения из чего и вычисляется угар угля эквивалентный угару кокса.

Литература

1. Духан В.Н. Мастер коксового производства М.: Metallurgy, 1970. — 368 с.
2. Михно В.П. Труды Гипрококса вып. XXXIV Изд-во «Metallurgy», 1968. 87–92 с.

Н.С. Мольков, асп.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ УЗЛА УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Вопрос энергоэффективности в зданиях рассматривается на уровне международной и государственной политики. Рационального использования энергоресурсов можно достигнуть при применении комплексного подхода, зависящего от компоновки здания, архитектурных решений, особенностей климата, режимов работы и автоматизации систем отопления и кондиционирования.

Целью работы является мониторинг класса энергоэффективности (КЭЭ) здания на основе показаний узла учета тепловой энергии до и после увеличения термического сопротивления стен здания. Разработанный авторский программный комплекс позволяет определить его фактический КЭЭ в суточном, месячном или годовом интервале времени [1]. Объект исследования — трехэтажное односекционное офисное здание, расчетное количество работников — 65 человек. Исходя из анализа годового потребления теплоносителя с 2018 по 2023 год в рамках проведения энергоаудита, сделан вывод о росте тепловых потерь здания, росте потребления энергоресурсов и снижении КЭЭ. В результате исполнения мероприятий по улучшению ограждающих конструкций здания (повышения термического сопротивления с $0,69 \text{ м}^2 \cdot \text{С}^\circ/\text{Вт}$ до $1,89 \text{ м}^2 \cdot \text{С}^\circ/\text{Вт}$) и оконных проемов произведен анализ значений потребления энергоресурсов в месячном интервале времени в течение года и рассчитан КЭЭ здания.

Разработанный комплекс позволил определить КЭЭ в начале расчетного периода, как «С», при годовом потреблении тепловой энергии согласно показаниям узла учета тепловой энергии $253,9 \text{ Гкал/год}$. В процессе эксплуатации здания установлено снижение КЭЭ до «Е», при потреблении $272,5 \text{ Гкал/год}$ при сопоставимых значениях расходов и температур теплоносителя. После проведения мероприятий, направленных на снижение тепловых потерь, потребление ресурсов снизилось до $231,4 \text{ Гкал/год}$, фактический КЭЭ определен, как «В». Ведется работа по разработке математической модели прогнозирования потребления энергетических ресурсов здания.

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.

И.И. Феоктистов, асп.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСШЕЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективным способом производства водорода является технология газификации угля. Россия занимает третье место в мире по объему разведанных месторождений угля, которые составляют порядка 47,4 млрд т и долгое время являлась основным экспортером угля для Китая и Индии [1]. Однако в настоящее время в связи со снижением спроса и цен на основных экспортных рынках угольная промышленность становится убыточной. Переориентировка с экспорта угля на производство из него водорода является одним из путей дальнейшего развития отрасли.

Для разработки эффективного способа газификации необходимо знать теплофизические свойства угля, такие как его технический состав и его высшую теплоту сгорания. В технический состав угля входят такие параметры как зольность (Ash), влажность (Mo) и выход летучих веществ (VM), а содержание нелетучего углерода (FC) рассчитывают остаточному принципу [2]. Определение зависимости высшей теплоты сгорания от его технического состава основывается на модели множественной линейной регрессии [3]:

$$HHV = FC^2 + VM^2 + Ash^2 + Mo^2 + FC + VM + Ash + Mo + Const \quad (1)$$

Данная методика достаточно точно позволяет определить высшую теплоту сгорания топлива. Вывод такого уравнения для углей отечественных месторождений на основании экспериментальных исследований с использованием калориметра, позволит оценить характеристики различных углей более точно, чем расчетным методом без предварительного проведения экспериментов.

Литература

1. **Государственный доклад** «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов российской федерации в 2022 году» / М-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). — Москва: ФГБУ «ВИМС», 2023. — 640 с.
2. **ГОСТ Р 53357-2013 (ИСО 17246:2010)** Национальный стандарт Российской Федерации. Топливо твердое минеральное. Технический анализ (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2013 N 1231-ст // Топливо твердое минеральное. Технический анализ — М.: Стандартинформ, 2014.
3. **Cheng Qian** Prediction of higher heating values of biochar from proximate and ultimate analysis / Cheng Qian, Qingbo Li, Zezhong Zhang, Xiaofeng Wang, Jiaochan Hu, Wenjun Cao // Fuel, Volume 265, 2020, 116925, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116925>.

А.В. Липовый, студ.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА РАДИАЦИОННОГО РЕКУПЕРАТОРА

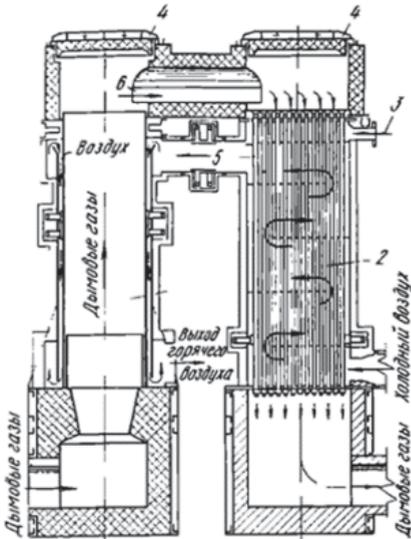


Рис. 1. Комбинированный радиационно-конвективный рекуператор конструкции Теплопроекта: 1 — радиационный; 2 — конвективный

При температурах дымовых газов выше 900–1000°C основное количество теплоты передается в рекуператорах излучением — радиацией. Поэтому такие рекуператоры называют радиационными. На рис. 1 данный рекуператор представлен слева. В настоящее время радиационные рекуператоры находят широкое применение для утилизации теплоты дымовых газов высокотемпературных тепловых нагревательных печей прокатного, кузнечно-штамповочного и других производств [1].

Однако большие габариты приводят к потерям теплоты с уходящими из печи дымовыми газами и к снижению эффективности.

Целью работы является повышение эффективности теплообмена радиационного рекуператора и интенсификации [2].

Были поставлены следующие задачи: повышение теплообмена и уменьшение габаритов. По начальным параметрам

были определены скорости дымовых газов и воздуха — 0,85 и 10,4 м/с. Высота при противотоке и при прямотоке — 9,6 и 12,4 м. Годовая экономия природного газа при установке рекуператора — $V_r = 11260 \text{ м}^3/\text{год}$.

Литература

1. Рекуператоры для промышленных печей. Тебеньков Б.П.М., «Металлургия», 1975, 296 с.
2. Исследования и оптимизация высокотемпературных реакторов: учебное пособие / К.В. Строгонов — М.: Издательство МЭИ, 2020. — 123 с.

*В.С. Королев, асп.; М.Ю. Шевяков, студ.;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

В работе проводится сравнительный анализ различных способов утилизации конвертерных газов сталеплавильного производства. На данный момент в России конвертерные газы утилизируются с низкой эффективностью, поэтому есть возможность производить утилизацию для производства различных видов энергоносителей: тепловой энергии, электрической энергии, а также синтез-газа для получения химической продукции.

Для оценки эффективности различных способов утилизации конвертерного газа был проведён расчет эксергетического КПД. Эксергия — это максимальное количество полезной работы, которое может быть получено от термодинамической системы при обратимом переходе в состояние термодинамического равновесия с окружающей средой. Это энергия, не связанная с неизбежными потерями, обусловленными энтропией [1].

Расчет эксергетического КПД проводится по формуле (1):

$$\eta_e = \Sigma E_{\text{ВЫХ}} / \Sigma E_{\text{ВХ}}, \quad (1)$$

где $\Sigma E_{\text{ВЫХ}}$ и $\Sigma E_{\text{ВХ}}$ — результирующий эксергетический поток на входе и на выходе установки соответственно, МДж.

Эксергетический анализ позволил объективно сравнить различные способы утилизации конвертерного газа, в частности, такие перспективные направления, как производство водородсодержащего топлива [2], по их эффективности. Способ с меньшими потерями эксергии считается более эффективным. Результаты эксергетического анализа могут быть использованы для оптимизации технологических схем утилизации, позволяя повысить эффективность использования энергии, содержащейся в конвертерном газе, и снизить затраты.

Литература

1. **Бродянский, В.М.** Эксергетический метод термодинамического анализа. — М.: Энергия. 1973. — 296 с.
2. **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.

Ю.В. Морозов, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

К РАСЧЕТУ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

Для термической переработки твердых коммунальных отходов (ТКО) используются различные установки, в том числе шахтные печи, отличающиеся высокой надежностью и простотой конструкции [1]. Перерабатываемые отходы перемещаются в рабочем пространстве печи под действием силы тяжести, проходя зоны сушки и пиролиза и подвергаясь непрерывной тепловой обработке. В зоне сушки осуществляется нагрев и обезвоживание слоя ТКО за счет теплообмена с потоком газа из нижерасположенной зоны пиролиза. Недостатком в работе шахтных печей является плохая газопроницаемость слоя в зоне сушки, обусловленная слипаемостью сырья. В этой связи, актуально исследование гидравлического сопротивления слоя ТКО, на которое оказывает влияние влажность сырья и скорость сушильного агента.

Изучение гидродинамических закономерностей в слое влажных ТКО среднего морфологического состава в процессе их обезвоживания проведено посредством расчетных и экспериментальных методов исследований. Экспериментально установлены зависимости порозности слоя от влажности ТКО. Предложена эмпирическая формула, позволяющая определить зависимость гидравлического сопротивления слоя ТКО от скорости сушильного агента и влажности материала.

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{H}{d_{\text{эkv}}} \cdot \frac{W_{\phi}^2}{2} \cdot \rho f^m \phi$$

где Δp — перепад давления в слое, Па; ξ — коэффициент гидравлического сопротивления; H — высота слоя, м; $d_{\text{эkv}}$ — эквивалентный диаметр элемента слоя, м; W_{ϕ} — фиктивная скорость движения теплоносителя, м/с; f — порозность; ϕ — коэффициент формы элементов слоя [2].

Литература

1. Патент РФ №2700614 Установка для термической переработки твердых коммунальных отходов методом пиролиза / Колибаба О.Б., Горинов О.И., Долинин Д.А., Габитов Р.Н., Самышина О.В., Семенов А.С. Оpubл.: 18.09.2019, Бюл. №26.
2. **Справочник химика.** Под ред. Б.П. Никольского. Изд. «Химия», 1966. — 976 с.

К.В. Поломошнов, студ.;
рук. А.А. Валинеева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАПАЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ ПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА, РАБОТАЮЩЕГО НА РДФ ТОПЛИВЕ

Как правило, теплотехнические процессы требуют высоких температур для успешной реализации. Среди таких процессов ярко выделяется процесс получения плавленного цементного клинкера и энергии из РДФ топлива. В связи с этим была спроектирована экспериментальная запальная горелка мощностью 0,3 МВт, работающая на смеси метана и этана в соотношении 95/5.



Рис. 1. Спроектированная запальная горелка

В качестве окислителя используется технический кислород, за счет чего достигается возможность воспламенения РДФ топлива в рабочей камере плавильного агрегата, поскольку температура факела намного выше температуры воспламенения загруженного промежуточного продукта. Модель спроектированной горелки представлена на рисунке 1.

Данная горелка обеспечивает кинетическое сжигание топлива, что достигается за счет соблюдения нескольких условий, а именно подачи сред под углом, отдельно друг от друга с обеспечением закрутки итогового потока после прохождения газоразрывных отверстий. Поступающее дутье проходит до отверстий коллектора, из которых под давлением подается газ. Далее в смесителе проходит стадия перемешивания топлива и окислителя, что сильно уменьшает длину получаемого факела по сравнению с тем, какая она бы получилась при диффузионном режиме горения. Спроектированная горелка является более предпочтительной, поскольку позволяет соблюдать высокую температуру факела при относительно малых длинах.

Литература

1. **Шурыгин А.П., ред. Соколов Б.А.,** Методические указания к типовому расчету по курсу «Технология сжигания и переработки топлива». М.: Моск.энерг.ин-т, 1986 — 42 с.

*Н.В. Резников, студ.; Д.Д. Львов, асп.;
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТА ПЕРФОРИРОВАННОГО ОГРАЖДЕНИЯ ДЛЯ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ БАРБОТАЖНОГО ТИПА

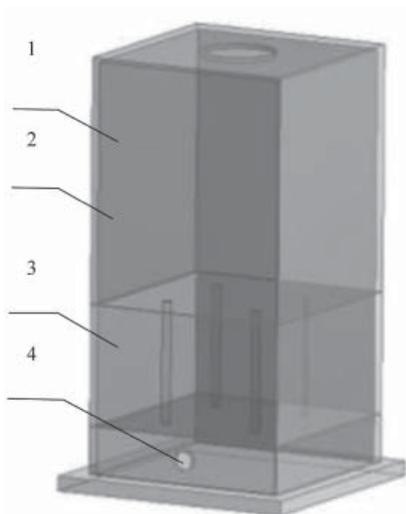


Рис. 1. Модель ограждения
1 — корпус; 2 — расплав; 3 — под;
4 — воздух

процесс барботажа обеспечил практически однородное распределение температуры во объеме водной среды.

Система показала равномерное распределение температуры воды, в среднем 59°C , что свидетельствует об оптимальном теплопереносе между газовой и жидкой фазами.

Одним из способов снижения расхода энергоресурсов является рассредоточенная продувка расплава, которая позволяет равномерно распределить теплоту по объему расплава и ускорить процесс плавки [1]. Организация подачи газового потока через перфорированный под позволяет снизить тепловые потери в окружающую среду [2].

Для моделирования теплообмена в перфорированном поде [3] была разработана модель (рис. 1), которая представляет собой куб с равномерно распределенными по её поверхности отверстиями. Модель позволяет имитировать прохождение газовых струй через под, что дает возможность изучения процесса теплообмена.

В ходе моделирования была задана температура воды равная 60°C , а температура окружающего воздуха 20°C . Несмотря на температурный градиент,

Литература

1. **А.Д. Ключников, В.Н. Кузьмин, С.К. Попов** Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах: Учебное пособие для вузов / Энергоатомиздат, 1990, 174, [1] с.
2. **Е.Г. Нешпоренко, С.В. Картавец** Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. — 153 с.
3. **К.В. Строгонов, А.К. Бастынец, Д.Д. Львов, В.А. Мурашов, Р.Р. Салихова** // Высокотемпературное ограждение для сталеплавильного агрегата непрерывного действия // Новые огнеупоры, 2024. — № 5. С. 60–66.

*М.А. Аксашева, Д.И. Горчаков, А.Е. Шубин, студенты;
А.П. Мунин, аспирант.; рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц.
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов);*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В современном мире остро стоит вопрос охраны окружающей среды и оптимизации потребления природных ресурсов. Нефтеперерабатывающие предприятия стремятся к повышению энергоэффективности через утилизацию вторичных энерго-ресурсов (ВЭР).

Предлагается использовать ВЭР для предварительного нагрева воздуха, поступающего в горелки печи. Реконструкция заключается в установке на газоходе печи рекуперативного трубчатого воздухоподогревателя [1].

Утилизация вторичных энерго-ресурсов — практичный способ повышения энергоэффективности нефтеперерабатывающих предприятий, позволяющий снизить затраты на производство, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и получить дополнительную электроэнергию [2].

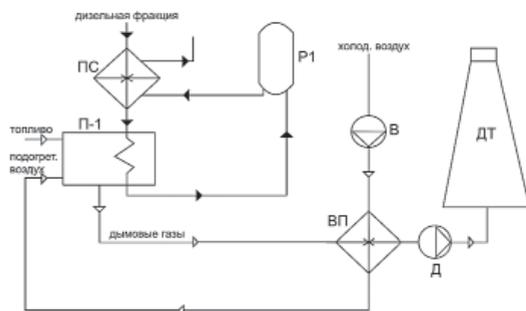


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема: ПС — подогреватель сырья, П-1 — печь, Р1 — реактор, ВП — воздухоподогреватель, В — вентилятор, Д — дымосос, ДТ — дымовая труба

Литература

1. **Ентус Н.Р., Шарихин В.В.** — М., Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Химия, 1987.
2. **Мусатов Ю.В., Лёвшкина Л.В.**, Теплотехнический расчёт камерной нагревательной печи / Саратов.: СГТУ, 2008.

*В.Р. Жихарева, В.О. Фадеева, студенты;
рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТРУБНОГО КОТЛА

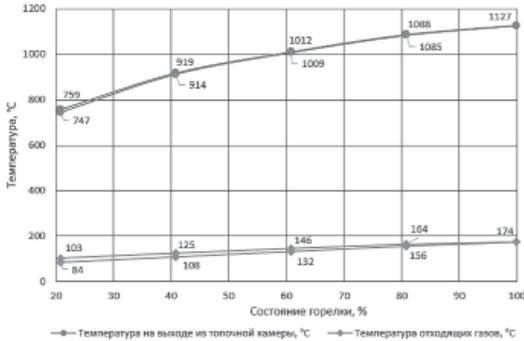


Рис. 1. Температурные характеристики в зависимости от нагрузки котла

В настоящее время на практике для конструирования газотрубных котлов не имеется достаточно нормативно-расчетной базы, а различные методики характеризуются наличием погрешностей. Следовательно, необходимо проведение физических экспериментов и разработка численных моделей для дополнительных исследований теплообмена [1].

В данной работе исследованы особенности теплового

расчета газотрубного котла мощностью 8 МВт с целью получения достоверных данных в ходе проведения физического эксперимента.

В результате экспериментов проведены измерения температур при различных режимах работы котельного агрегата в зависимости от загрузки горелочного устройства (рис. 1). На основании полученных данных проводится верификация различных методик для расчета данного типа котлов и вводятся рекомендации для модернизации известных методик [2, 3].

Литература

1. **Бурмакина, А.В.** Анализ теплового расчета газотрубного водогрейного котла с использованием результатов численного моделирования / А.В. Бурмакина, В.Р. Жихарева, С.Н. Петин, Н.М. Бонадыков // Новое в российской электроэнергетике. — 2024. — № 9. — С. 6–15.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецоваи др. М.: Энергия, 1973.
3. Расчет жаротрубно-дымогарного котла / под ред. А.П. Лумми, В.А. Мунц. ГОУ ВПОУГТУ-УПИ, 2009.

*В.Р. Жихарева, И.О. Исаченко, студенты;
рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ДЫМОГАРНЫХ ТРУБАХ ГАЗОТРУБНОГО КОТЛА

Исследование теплообмена в дымогарных трубах газотрубных котлов является недостаточно решенной задачей, так как в известных методиках расчета не учитывается внешний теплообмен от водяного теплоносителя к стенке дымогарных труб, при этом для корректировки расчета используется коэффициент тепловой эффективности [1, 2].

В области дымогарных пучков, со стороны водяного теплоносителя, происходит теплоотдача преимущественно на основании свободной конвекции, что влияет на коэффициент теплопередачи (k). Из рисунка 1 видно снижение k при $\alpha_2 < 2000$ Вт/(м²·К) для режима нагрузки котла 99% и при $\alpha_2 < 400$ Вт/(м²·К) для режима нагрузки котла 25%.

В данной работе на основании экспериментальных исследований проводится верификация данных по влиянию внешнего теплообмена в области дымогарных труб газотрубных котлов.

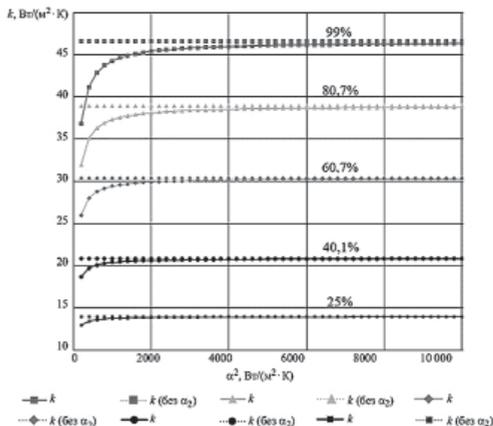


Рис. 1. Зависимость k от α_2 при исследовании влияния учета внешнего теплообмена на коэффициент теплопередачи дымогарного пучка первого хода. (25; 40,1; 60,7; 80,7; 99 — исследуемые режимы нагрузки котла в %)

Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецоваи др. М.: Энергия, 1973.
2. Расчет жаротрубно-дымогарного котла / под ред. А.П. Лумми, В.А. Мунц. ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009.
3. **Бурмакина, А.В.** Анализ теплового расчета газотрубного водогрейного котла с использованием результатов численного моделирования / А.В. Бурмакина, В.Р. Жихарева, С.Н. Петин, Н.М. Бонадыков // Новое в российской электроэнергетике. — 2024. — № 9. — С. 6–15.

С.У. Камбаров, асп.;
рук. К.С. Шатохин, к.т.н., доцент (МИСИС, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В дуговых сталеплавильных печах (ДСП) для защиты от высоких температур и агрессивной среды используют специальные огнеупорные материалы, такие как периклазохромитовые и периклазошпинелидные. Это материалы, которые выдерживают экстремальные условия плавки стали [1].

Служба огнеупоров в ДСП проходит в более сложных условиях. Из-за более высокой температуры в центре свода износ центральной части составляет 4–4,4, в то время как периферийной — 2–2,6 мм за плавку. Устойчивость свода ослабляется наличием отверстий для электродов, отсоса газов и кислородных фурм. Стойкость сводов 100-т печей составляет 60–120, а большегрузных (>100 т) — 60–80 плавков. Основной причиной разрушения огнеупоров является растрескивание и скалывание под действием напряжений, возникающих в огнеупоре при насыщении их шлаком, а также влияние термических ударов, сил тяжести и т. д., а в центральной части — скалывание и оплавление.

Стойкость кладки повышается на 15–20% при замене секторно-арочной на кольцевую кладку. Замена периклазохромитовых изделий в своде ДСП на мулитокорундовые снижает скорость износа с 3,2 до 2,2 мм за плавку.

Стены ДСП искусственно охлаждают, что позволяет создать гарнисаж и повысить температуру плавки. Расход огнеупоров в печах ДСП без водяного охлаждения составляет 18 кг на тонну выплавленной стали [2].

Графит является важным компонентом, используемым для повышения термостойкости огнеупорных материалов. Благодаря своей способности равномерно распределять тепло, он снижает локальное нагревание и уменьшает риск разрушения структуры. Графит сохраняет свои свойства при температурах выше 3000 °С в инертной среде, что делает его незаменимым в условиях экстремально высоких температур [3].

Литература

1. **Селиванова А.Н.** Производство и применение огнеупоров в различных отраслях промышленности. <http://ogneupor-spb.ru/besplatno/6.pdf> (дата обращения 05.12.2024).
2. **MARKMET.** Служба огнеупоров в сталеплавильном производстве. URL: <https://markmet.ru/ogneupornie-materialy/sluzhba-ogneuporov-v-staleplavilnom-proizvodstve?ysclid=m4fhelmdi583610120> (дата обращения 07.12.2024).
3. **РОССТИП.** Графит в огнеупорных материалах. URL: <https://rosstip.ru/news/3141-grafit-v-ogneupornykh-materialakh-kak-on-uluchshaet-termostojkost-v-stroitelstve> (дата обращения 07.12.2024).

А.А. Патран, асп.;
рук. К.С. Шатохин, к.т.н., доц. (НИТУ МИСИС, Москва)

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ВНЕДРЕНИЯ АСУ ТП

Нагрев металла в методических печах перед прокаткой играет ключевую роль в третьем металлургическом переделе и служит необходимым этапом для получения качественной продукции.

Сотрудниками НИТУ МИСИС была предложена методика комплексного контроля температурного состояния слывовых заготовок в проходных нагревательных печах [1]. Микропроцессорная система, смонтированная непосредственно на тепловых агрегатах и на стане горячей прокатки после его черновой клети, осуществляет экспериментально-аналитический способ определения температурного поля, базирующийся на явлении тепловой памяти в термически массивном теле. Данный способ заключается в бесконтактном измерении температуры торца слыва с помощью пирометра частичного излучения через окно печи и сканировании температуры поверхности раската вдоль оси при его движении по рольгангу прокатного стана. Расчеты температурного режима нагрева металла используют данные профиля эффективной температуры печи в зонах, измеренной термометрическими термометрами [2].

В результате появилась возможность осуществить гарантированный режим нагрева при соблюдении требуемых показателей по производительности, удельному расходу топлива, угару металла и количеству выбросов оксидов азота [3]. Благодаря внедрению методики удалось уменьшить расход топлива на нагрев слывов на 10–15% и снизить температурный допуск на прокатку. Угар металла уменьшился на 20–30%, а вредные выбросы — на 30–40%.

Литература

1. **Бердышев В.Ф., Шатохин К.С.** Компьютерная система отображения температурных полей нагреваемого металла // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. 1999. № 4.
2. **Бердышев В.Ф., Найденов Р.Э., Шатохин К.С., Семянников С.В.** Программное обеспечение теплотехнических исследований методической печи // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. 2001. № 3.
3. **Ким А.А., Шатохин К.С.** Совершенствование АСУ ТП нагрева металла в методических печах // Теплотехника и информатика в образовании, науке, производстве: сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием. Екатеринбург, 2022.

Секция 35

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

Е.С. Колесник, асп.; рук. Д.Н. Курицын, к.т.н., доцент (МАИ, Москва)

АНАЛИЗ НАПЛАВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ЛАЗЕРОМ

Титановые сплавы имеют высокую стоимость, а также есть ряд особенностей в механической обработке: специальные требования безопасности, требуются режущие инструменты с износостойким покрытием, так как износ инструмента значительно увеличивается по сравнению с обработкой других материалов, изменение режимов резания. Все это способствует увеличению времени на изготовление деталей и как следствие, удорожанию самой детали.

Для снижения стоимости и времени на изготовление, предполагается часть конструкции детали выполнять лазерной наплавкой с последующей механической обработкой для снятия минимального припуска. Это позволит увеличить стойкость режущего инструмента и использовать менее габаритные заготовки.

С этой целью был проведен анализ наплавки титановых сплавов: ВТ1-00, ЗТВ, ВТ-20, ВТ-6 и Ti-6Al-4V. Была изучены макро- и микроструктура наплавленных слоев, а также измерена микротвердость.

Можно сказать, что титановые сплавы показали хороший результат в качестве наплаваемого материала, со структурой близкой к материалу полученной литьем или прокатом. Из минусов можно отметить твердость, которая вблизи поверхности образца имела максимально значение и ее значения уменьшаются с увеличением расстояния от поверхности, постепенно достигая твердости подложки [1]. Также можно в отдельности отметить материал ВТ-20, в структуре которого не обнаружено никаких дефектов, а именно внутренних пор [3], тогда как у остальных сплавов наблюдалась данная проблема [3].

Литература

1. **Hideki Kyogoku.** The current status and outlook for metal Additive Manufacturing in Japan / Hideki Kyogoku // Metal Additive Manufacturing, Autumn/Fall 2015. — Vol. 1, № 3. — P. 31–39.
2. **Скребцов А.А. к.т.н., доц., Овчиников А.В. д.т.н., проф., Шевченко В.Г. з к.т.н., доц., Михайлютенко О.А. м.н.с., Жила Т.А. м.н.с.** Получение деталей из сплавов титана аддитивными методами // Строительство, материаловедение, машиностроение: Стародубовские чтения — 2017, — с. 118–122.
3. **Xiaoqing Wang, Xibing Gong, Kevin Chou.** Scanning speed effect on mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy processed by electron beam additive manufacturing / 43rd Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution of SME. — 2015. — Vol. 1. — P. 287–295.

Д.В. Сморкалов, гл. констр.;
В.В. Бережной, директор по инновациям;
М.Ю. Ермошин, генеральный директор (ООО «Корона»)

АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАЛОКУБАТУРНЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РОССИИ

В Советском союзе с 40х годов начался выпуск стационарных малолитражных двигателей для сельскохозяйственной техники, генераторов, насосов. По своим показателям двигатели не уступали аналогичным моделям, производимым за рубежом. Конструкции двигателей в мире со временем совершенствовались, например в конце 70х годов выпущены популярные в настоящее время двигатели Honda. За это время сильно изменились требования пользователей к эксплуатируемой технике. Советские же производились до 90х годов без изменения [1]. При проектировании отечественных двигателей учитывались использование в суровых условиях, применение низкокачественных масел и топлива без ограничений по расходу. Весовое, технологическое, конструктивное развитие двигателестроения не имело движения и не планировалось развиваться. В итоге в 90-х годах двигатели стали неконкурентоспособны по сравнению с иностранными аналогами и их производство прекращено.

В настоящее время в России начинают возражать утраченные компетенции в области поршневого двигателестроения, что позволяет говорить об открытии новых производств, в том числе малокубатурных двигателей. В связи с сильной конкуренцией со стороны Китая, без поддержки государства это сделать невозможно. В компании «Корона», идёт активная подготовка к запуску нового проекта малокубатурных двигателей, с применением современных технологий и материалов (рисунк 1).



Рис. 1. Основные этапы проекта создания производства малокубатурных ДВС

Литература

1. Стационарные малолитражные двигатели УД-15, УД-25 и их модификации. — Министерство автомобильной промышленности завод малолитражных двигателей. Петропавловск, Каз. ССР, 1990 г. — 45 с.

*Л.С. Яновский, д.т.н., проф., В.М. Ежов, к.т.н.,
М.А. Ильина, К.В. Шаранина («ЦИАМ им. П.И. Баранова»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛИЭФИРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ГТУ НА ФТОРКАУЧУКОВЫЕ И ФТОРСИЛИКОНОВЫЕ РЕЗИНЫ

В настоящее время для газотурбинных энергосиловых установок авиатехники и энергетики широко применяются масла на основе эфиров полиолов. Они сочетают высокий уровень противоизносных характеристик и термоокислительной стабильности. Недостатком полиэфирных масел является повышенная агрессивность к уплотнительным резинам [1, 2].

Штатный метод оценки воздействия масел на уплотнительные резины не позволяет определить динамику значений механо-прочностных свойств: предела прочности, накоплению остаточной деформации сжатия и изменения массы резин в зависимости от температуры. Целесообразно провести предварительные исследования влияния масел на уплотнительные резины в диапазоне температуры с целью определения критического значения температуры, при которой свойства резин резко снижаются, запас качества по совместимости с резинами и модернизация существующего метода оценки воздействия масел на уплотнительные резины.

Экспериментально получены температурные зависимости предела прочности, накопления остаточной деформации сжатия и изменения массы образцов резин марок ИРП-1316, ИРП-1287 и 51-1434 после воздействия масел на основе эфиров полиолов и полиальфаолефинов в интервале температуры 190–220°C.

Установлены температурный предел применения резин марок ИРП-1316, ИРП-1287 и 51-1434 в среде масел на основе полиальфаолефинов и эфиров полиолов, а также запас качества масел по показателю «совместимость с уплотнительными материалами».

Полученные данные будут использованы для совершенствования методологической базы с целью создания смазочных масел нового поколения для авиационных ГТД и ГТУ энергетики, а также при проектировании маслосистем перспективных энергосиловых установок.

Литература

1. **Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М.** Горюче-смазочные материалы для авиационных двигателей, Казанский Государственный Технический Университет им. А.Н. Туполева, Казань, 2002, с. 282.
2. **Яновский Л.С., Ежов В.М., Ильина М.А., Шаранина К.В.** Исследование термоокислительной стабильности синтетических масел для авиационных ГТД и редукторов вертолетов, Мир нефтепродуктов № 2, 2001, с. 52.

*А.И. Костюк, студ.; Г.А. Герцовский, асп.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ 3D-СКАНИРОВАНИЯ НА ДЕТАЛИЗАЦИЮ И ВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ

В настоящее время в отечественной авиационной промышленности необходимо уменьшить зависимость от импортных комплектующих с помощью импортозамещения, поскольку значительную часть парка средне- и дальнемагистральных самолетов составляют импортные воздушные суда [1]. Решением данной проблемы является применение реверс-инжиниринга для создания конструкторской документации (КД) на базе имеющихся прототипов изделий. Для разработки КД необходимо получить размеры детали. В качестве метода для получения геометрических характеристик изделия с высокой точностью используется технология 3D-сканирования, с помощью которой возможно получить деталь прототипа в виде полигональной 3D-модели. При проведении 3D-сканирования необходимо задавать параметр расстояния между точек полигональной сетки. В настоящее время отсутствуют рекомендации по выбору расстояния между точками для получения высоко-детализированной полигональной модели за наименьшее время.

Объектом исследования был определен корпус камеры сгорания микро-ГТУ Capstone C65, поскольку он по своей форме подобен кольцевыми камерам сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей.

В данном исследовании было определено влияние расстояния между точек полигональной модели на общее время, затраченное на сканирование и пост-обработку и конечный размер файла (рисунок 1).

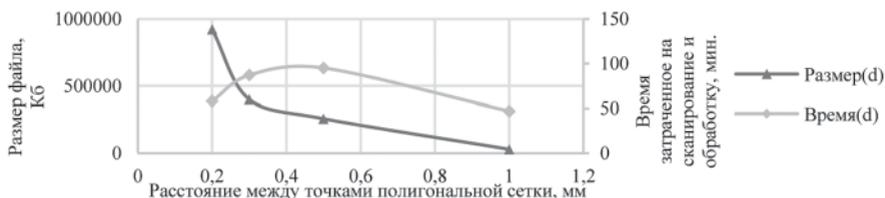


Рис. 1. Влияние расстояния между точками полигональной сетки на время обработки и размер файла

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка методов автоматизации процесса обратного проектирования деталей и рекомендаций для их последующего изготовления» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. Капогузов Е.А. Импортозависимость российской гражданской авиационной промышленности // Вестник Томского государственного университета. Экономика. — 2022. — № 58. — С. 58–76.

Д.А. Четкин, асп.; рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В последние десятилетия очень актуален вопрос перехода к высокотехнологичному производству. Благодаря тому, что информационные технологии развиваются с огромной скоростью, то становится возможным собирать, хранить, передавать и анализировать большие массивы данных, поэтому в промышленности активно применяется концепция промышленного интернета вещей [1].

Для уменьшения затрат, связанных с эксплуатацией и ремонтом оборудования, а также для повышения эффективности работы объектов в сфере энергетики активно реализуется концепция цифровых двойников. Математическая модель, в структуре цифрового двойника (рисунок 1), способна рассчитывать оптимальные режимы эксплуатации для повышения показателей работы оборудования. Растет интерес к возможности применения облачных вычислений и технологий больших данных (Big Data) для промышленной автоматизации. Данная технология зачастую используется при разработке цифровых двойников с применением предиктивной диагностики, которая может способствовать своевременному обнаружению возможных дефектов на ранних этапах развития [2].

В рамках работы проведен обзор текущего состояния в области цифровых двойников технологических процессов и оборудования промышленных предприятий.

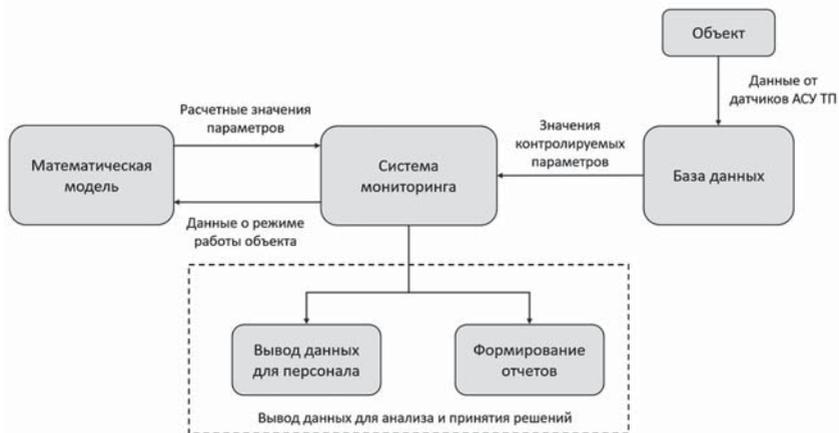


Рис. 1. Структурная схема цифрового двойника

Литература

1. **Цуриков Г.Н., Щербатов И.А.** Применение промышленного интернета вещей на объектах энергетики // Мехатроника, автоматика и робототехника. — 2018. — № 2. — С. 97–100.
2. **Наумов С.А.** Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования // Теплоэнергетика. — 2018. — № 4. — С. 21–33.

А.А. Ковешников, асп.;
рук. В.П. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РАДИОИЗОТОПНОГО СТИРЛИНГА ГЕНЕРАТОРА, КАК АЛЬТЕРНАТИВА РАДИОИЗОТОПНОМУ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ГЕНЕРАТОРУ

Основным способом энергообеспечения современных космических аппаратов в условиях недостаточной освещенности Солнцем является применение радиоизотопного термоэлектрического генератора (РИТЭГ). Данная энергетическая установка работает за счет преобразования тепла, выделяемого радиоактивным изотопом, в электроэнергию с помощью термоэлектрического эффекта (эффекта Зеебека). Одним из минусов данной энергетической установки является низкая эффективность термоэлектрического генератора (не более 7%).

Для решения данной проблемы предлагается применение в качестве преобразователя тепла в электроэнергию вместо термоэлектрического генератора РИТЭГ Стирлинг генератор [1].

Стирлинг генератор состоит из двигателя Стирлинга и электрогенератора. Двигатель Стирлинга преобразует тепловую энергию в механическую, работая за счет разницы температур в зонах его нагрева и охлаждения [2, 3]. Электрогенератор преобразует механическую энергию от двигателя Стирлинга в электроэнергию. Такая конструкция энергетической установки, из-за большего количества ступеней преобразования энергии, имеет большие энергетические потери, чем РИТЭГ. Но, за счет значительного КПД двигателя Стирлинга, общая эффективность предлагаемой энергетической установки будет выше РИТЭГ.

В данной работе представлено обоснование и целесообразность применения Стирлинг генератора, как альтернативы РИТЭГ, строящееся на проведенном тепловом расчете двигателя Стирлинга и выдаваемой им мощности, а также обзор мирового опыта подобных энергетических установок.

Литература

1. **Гибсон М.А. и др.** Разработка киловаттного реактора НАСА и путь к более мощным миссиям // Аэрокосмическая конференция IEEE 2017. — IEEE, 2017. — С. 1–14.
2. **Грэхем У. и др.** Машины, работающие по циклу Стирлинга. (Stirling-cycle machines, 1973). — 1978.
3. **Ридер ГХ.Ч.** Двигатели Стирлинга. — 1986.

*М.С. Кожемякин, студ.; М.Ю. Шмаёв, ассист.;
рук. А.Н. Вегера, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ УСАДКИ ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ 3D ПЕЧАТИ

В настоящий момент аддитивным технологиям находят всё больше применений в промышленности. На данный момент они уже стали неотъемлемой частью ряда научных и производственных отраслей, имеющих сложные технологические процессы изготовления. В первую очередь это обосновано значительным отличием метода производства, который позволяет существенно облегчить процесс создания сложных элементов деталей, узлов и агрегатов.

Так же можно отметить широкий спектр выбора материала для изготовления деталей. В него входят большая часть широко распространённых пластиков и полимеров, таких как: ABS, PLA, PETG, HIPS, SBS (Watson), TPU (FLEX), NYLON, ASA, PP, PC, POM, PMMA, PEEK, Ceramо, PVA, WAX. Кроме пластиков, в качестве материала печати, могут быть использованы различные композиты и даже металлы [1].

Однако аддитивные технологии не лишены своих недостатков. К ним можно отнести усадку ряда материалов, но что самое важное, это некорректный размер итогового изделия. Эта проблема актуальна для всех принтеров. Причина появления этой ошибки кроется в несовершенстве управляющей программы и исполнительных механизмов. То есть в системе существует некоторая статистическая ошибка управления, которая может быть устранена за счёт введения поправочных коэффициентов при подготовке модели к печати [2].

Метод вычисления основывается на ряде измерения специальной калибровочной модели, и получении её размеров по соответствующим осям. После получения значения они сравниваются с изначальными значениями, по их разнице вычисляется масштабирующий коэффициент, который применяется к детали при последующей печати.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка методики проектирования конструктивно-силовых схем элементов летальных аппаратов малой авиации с применением топологической оптимизации, с учетом особенностей их традиционного и аддитивного производства.» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. 3D TODAY.: [сайт] — URL: <https://3dtoday.ru/blogs/drprog/osnovnye-vidy-plastikov-dlya-fdm-3d-pecati> (дата обращения 15.10.2024).
2. 3D TODAY.: [сайт] — URL: <https://3dtoday.ru/blogs/garremmash/the-20-most-common-problems-of-3d-printing-part-1> (дата обращения 16.10.2024).

Секция 36

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Energy systems and complexes

Председатель секции: д.т.н., доцент Рогалев Андрей Николаевич

Секретарь секции: к.т.н., доцент Киндра Владимир Олегович

Н.Г. Никитин, студент; рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., профессор (НИУ МЭИ)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПРИТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ Т-125/150 ПРИ РАБОТЕ ЕЕ В МОТОРНОМ РЕЖИМЕ

Доклад посвящен актуальной проблеме исследования работы паровой турбины в моторном режиме. Вопрос исследования турбины Т-125/150 в моторном режиме ПГУ 450 оказался не затронутым [1].

В работе проведено математическое исследование моторного режима [2] работы и по результату составлена математическая модель работы турбины по каждой ступени. Выполнена работа по поиску оптимального режима управления моторным режимом и разработана интеллектуальная система управления температурным состоянием приточной части паровой турбины Т-125/150 при работе ее в моторном режиме. Для этого был разобран алгоритм расчета для ступеней паровой турбины группируемых по 8 групп.

Основные тезисы:

1. Ознакомление с объектом управления — паровой турбины Т-125/150 ПГУ 450;
2. Обзор моторного режима и тепловая схема моторного режима турбины Т-125/150 ПГУ 450;
3. Разработка программы расчета температуры пара группы ступеней турбины Т-125/150 ПГУ 450 [3].
4. Проведение тестовых расчетов для бес парового режима.

Литература

1. **Аракелян Э.К., Сахаров К.В.** Исследование температурного состояния ступеней ЦВД паровой турбины Т-125/150 ПГУ-450 при работе в мало паровом режиме М: Издательство МЭИ, 2013 г.
2. **Аракелян Э.К., Старшинов В.А.** Повышение экономичности и маневренности оборудования тепловых электростанций М: Издательство МЭИ, 1993 г.
3. **Мадоян А.А., Левченко Б.Л., Аракелян Э.К. и др.** Применение моторного режима на тепловых электрических станциях. М: Энергия, 1987 г.

*Цинь Юань, студ.; Хэ Ломинь, студ.; Фан Яньсуй, студ.;
рук. Е.Н. Олейникова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА БИЗНЕС-ПЛАНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С КОМБИНИРОВАННЫМ ЦИКЛОМ В Г. ШАНХАЕ

В г. Шанхае (Китай) в индустриальном парке и зоне экономического развития Пудун планируется построить проект по производству высокотехнологичного литья мощностью 700 000 тонн в год и проект по глубокой переработке химической продукции мощностью 500 000 тонн в год. Оба проекта предъявляют жесткие требования к надежности и качеству энергоснабжения. В парке предлагается построить теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) для удовлетворения потребностей промышленных потребителей в электроэнергии и паре. ТЭЦ будет служить собственной электростанцией предприятия, обеспечивая стабильное и надежное энергоснабжение в процессе производства, что, в свою очередь, повысит общую эффективность производства.

В исследовании поставлены цель и задачи проекта строительства новой ТЭЦ, а также приведен анализ места размещения для ее строительства с точки зрения наличия инфраструктуры, топливоснабжения и прочих аспектов. Проведен маркетинговый анализ энергетического рынка и предложена маркетинговая стратегия реализации электроэнергии, тепла и пара. На этой основе предложены два технических варианта исполнения схем для удовлетворения потребностей проекта в тепловой и электрической энергии, проведен сравнительный анализ и выбор лучшего варианта из двух схем. Рассчитаны технико-экономические показатели оптимальной схемы, оценены капитальные и эксплуатационные затраты ТЭЦ, подготовлена производственная программа.

В качестве показателей финансово-экономической эффективности проекта выбраны: чистый дисконтированный доход (NPV), индекс прибыльности (PI), внутренняя норма рентабельности (IRR) и дисконтированный срок окупаемости (DPB). Также проведен анализ рисков и чувствительности проекта по объему необходимых инвестиций, количеству поставляемой энергии, цене на тепловую и электрическую энергию и цене на природный газ.

Литература

1. **Liu Z., Li Y., Yang G., Wang W.** Development path of China's gas power industry under the background of low-carbon transformation, *Natural Gas Industry B*, Volume 8, Issue 6, 2021, Pages 576–587, ISSN 2352-8540, [online] Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854021000930>.

Е.Н. Никулина, асп.; рук. Е.А. Ларин, к.т.н., проф. (СГТУ, Саратов)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГИБРИДНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Создание комбинированных теплоэнергетических установок на базе топливных элементов (ТЭ), работающих по принципу прямого преобразования энергии, является одним из перспективных направлений применения альтернативных источников энергии. Топливный элемент — это электрохимическое устройство, которое использует углеводородное топливо, водород и кислород для производства энергии.

Целью настоящей работы является разработка принципиальных схем комбинированных теплоэнергетических установок (КТЭУ) на базе использования твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) и газотурбинных установок (ГТУ) для выработки электрической и тепловой энергии, теоретических основ определения их системной эффективности на основе оптимизации параметров рабочих тел и характеристик основного оборудования.

Разработана принципиальная тепловая схема КТЭУ с использованием ТОТЭ и газотурбинной установки. Установлены и определены показатели термодинамической эффективности для идеального и эффективного (с учетом неполноты использования теплоты реакции окисления топлива) КПД топливных элементов. Установлено, что термодинамическая эффективность КТЭУ главным образом зависит от степени повышения давления воздуха в компрессоре, температуры газа перед газовой турбиной и поляризационных потерь в ТЭ. Термодинамическая эффективность ГТУ существенно ниже, чем топливных элементов. Поэтому общая эффективность гибридных установок с ростом температуры перед ГТУ снижается вследствие того, что мощность ГТУ ниже, чем ГЭУ. Расчетными исследованиями установлено, что КПД гибридных установок достигает 75%, а коэффициент использования теплоты топлива КТЭУ, достигает 95% [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: Сарат. гос. техн. ун-т, 2022. — 151–161 с.

П.В. Голосова, студ.; М.Д. Федкевич, студ.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

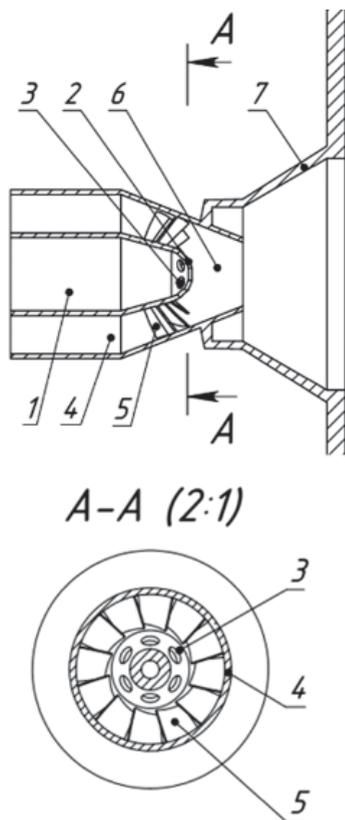


Рис. 1. Чертеж вихревого горелочного устройства

в 1,05 раз, а количество несгоревших углеводородов снижается в 1,19 раз по сравнению с использованием базовой конструкции.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10291, <https://rscf.ru/project/23-79-10291/>

Литература

1. **Соболев ВМ, Михайлов СЯ;** Прямоточно-вихревая горелка. Патент № 2027101 РФ, МПК51 F23 D 14/00. № 93013471/06; Заявл.12.03.93; Опубл. 20.01.95.

*Д.В. Паторкин, студ.; И.А. Максимов, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ

Мировой тренд на декарбонизацию энергетической отрасли предопределяет необходимость разработки и создания перспективных низкоуглеродных электростанций. Их внедрение, зачастую сопряженное с высокими капитальными и эксплуатационными затратами, при существующих внешних условиях может оказаться экономически нецелесообразным. Однако такие факторы как штрафы за выбросы диоксида углерода, стоимость топлива, ставка дисконтирования подвержены существенным изменениям. В этой связи актуальна задача разработки инструмента для определения оптимального направления развития энергетики региона и формирования рациональной структуры отрасли.

Авторами разработана методика определения оптимальной структуры генерирующих мощностей региона на базе проведения сценарных расчетов. В качестве критерия оптимума выступает минимум значения удельной дисконтированной стоимости производства электрической энергии (LCOE). Реализованный подход позволяет учесть не только текущие затраты на производство электроэнергии, но и долгосрочные перспективы от внедрения новых генерирующих технологий.

Определение масштабов и длительности обновления структуры генерации региона осуществляется посредством моделирования сценарных условий, подразумевающих возможность изменения ставки дисконтирования, штрафов на выбросы и других внешних факторов на оптимальную структуру энергетических систем. В конечном счете достигается минимизация суммарных дисконтированных затрат на электроснабжение экономики, что обеспечит удовлетворение спроса на электрическую энергию и мощность при минимальных затратах.

В ходе настоящего исследования была определена оптимальная структура генерирующих мощностей энергетической системы России и предельные затраты на внедрение перспективных низкоуглеродных энергетических комплексов.

Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете МЭИ за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10235, <https://rscf.ru/project/23-79-10235/>

Литература

1. **Энергетическая стратегия** Российской Федерации на период до 2035 года Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy> (дата обращения: 18.11.2024).

Д.В. Паторкин, студ.; И.А. Максимов, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННИКОВ

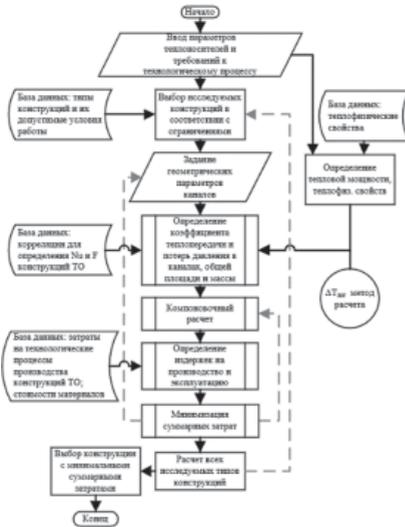


Рис. 1. Алгоритм выбора конструкций ТО

несоответствующие требованиям технологического процесса. Для оставшихся конструкций проводятся тепловые, гидравлические и компоновочные расчеты с предварительным заданием размеров каналов. Далее определяются суммарные затраты на производство, эксплуатацию теплообменных аппаратов. Затем эти затраты минимизируются путем оптимизации размеров и компоновки каналов. Конструкция с наименьшими суммарными затратами считается оптимальной. С использованием данного алгоритма проведены расчеты теплообменников на нетрадиционных теплоносителях и разработаны рекомендации к выбору их конструктивных характеристик.

Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете МЭИ за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10235, <https://rscf.ru/project/23-79-10235/>

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.

Выбор оптимального вида конструкции и конструктивных характеристик теплообменных аппаратов является актуальной задачей, решение которой обеспечит снижение затрат на производство и эксплуатацию оборудования перспективных энергетических комплексов, в частности, установок на низкокипящих теплоносителях [1]. Однако при ее решении необходим учет множества факторов: тип теплоносителей, температурные режимы, давления в каналах и т.д. В этой связи задача разработки алгоритма для выбора вида конструкции и оптимизации конструктивных характеристик теплообменных аппаратов является актуальной.

Авторами разработан алгоритм, представленный на рисунке 1. На первом шаге исключаются конструкции,

Д.С. Жаринов, студ.; М.А. Островский, асп.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИН

Выбор оптимального типа конструкции и конструктивных характеристик турбин является актуальной задачей, которая позволит повысить уровень эффективности производства электроэнергии перспективных энергетических комплексов, в частности установок на низкокипящих теплоносителях [1]. Однако выбор конструкции (радиальная или осевая) турбин предполагает проведение оптимизации множества факторов, таких как: тип теплоносителя, частота вращения, количество ступеней, степень реактивности ступени и др. В связи с этим возникает необходимость разработки алгоритма для выбора и оптимизации конструктивных характеристик турбин.

В настоящей работе представлен разработанный алгоритм (рис. 1) оптимизации ключевых конструктивных характеристик турбин радиальных и осевых турбин в обеспечение достижения максимальной газодинамической эффективности.

Для исследуемых конструкций турбин проводятся кинематические и термодинамические расчеты, оценка геометрических параметров и потерь с дальнейшим уточнением уровня эффективности.

С использованием разработанного алгоритма (рис. 1) проведена оптимизация конструкции турбин для циклов на низкокипящих теплоносителях в широком диапазоне варьируемых параметров. По ее результатам сформированы рекомендации к выбору типа и характеристик турбин.

Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете МЭИ за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10235, <https://rscf.ru/project/23-79-10235/>

Литература

1. Тринарные энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива / В.О. Киндра, В.Ю. Наумов, Н.С. Сльяр [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.



Рис. 1. Алгоритм выбора конструкций турбин

*А.С. Егоров, асп.; рук. А.Н. Байрамов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина в г. Саратов)*

МИРОВОЙ ОПЫТ РАЗРАБОТОК ГТУ НА ВОДОРОДЕ В КОНТЕКСТЕ КОМБИНИРОВАНИЯ АЭС С ВОДОРОДНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Энергоблоки АЭС поколения «3+» планируются к использованию для регулирования суточной неравномерности нагрузки, что требует поиска решений по обеспечению их базисной нагрузкой [1].

Одним из перспективных направлений является комбинирование АЭС с водородным комплексом, когда невостребованная электроэнергия может быть использована для производства водорода и кислорода за счет электролиза воды [2]. Полученные газы аккумулируются в специальной системе хранения и впоследствии сжигаются в специальной ГТУ для выработки электроэнергии в периоды пикового потребления. Исходная принципиальная схема комбинирования АЭС с водородным комплексом и ГТУ приведена в [3]. В дальнейшей разработке будет выполнена схемно-параметрическая оптимизация на основе исключения компрессорных агрегатов с повышением общей надежности водородного комплекса [2,4].

Мировой опыт разработки ГТУ на водородосодержащем топливе демонстрирует успешные испытания турбин, таких как GE 7HA.02 и Siemens SGT-800, работающих на смесях водорода и природного газа с концентрацией водорода до 75%. Турбины Ansaldo Energia AE94.3A и GT36 также были протестированы на водородосодержащем топливе, показав высокую стабильность и низкие выбросы вредных веществ. Камеры сгорания, разработанные компаниями Siemens и GE, используют технологии предварительного смешивания водорода с воздухом, что позволяет эффективно снижать выбросы NOx.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. / Правительство Российской Федерации. — Москва, 2020 г. — 79 с.
2. **Байрамов А.Н.** Разработка научных основ повышения эффективности АЭС при комбинировании с водородным комплексом [Текст]: дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.14.01 / Артем Николаевич Байрамов; науч. конс. Р. З. Аминов. — Саратов, 2022. — 397 с.
3. **Р.З. Аминов, А.Н. Байрамов.** Обоснование типа дополнительной турбинной установки при комбинировании АЭС с водородным энергетическим комплексом // 2070–4755. Труды Академэнерго, 2015, № 3 с. 62–72.
4. **Байрамов А.Н., Макаров Д.А.** Разработка и обоснование нового принципа комбинирования АЭС с водородным комплексом // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 05(422) 2024, с. 30–50.

*В.С. Яковлев, студ.; Ш.М. Мухаммад, асс.;
рук. С.К. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОГО ГОРЕНИЯ

Перспективным способом уменьшения выбросов углекислого газа в энергетике является переход к кислородно-топливным энергетическим комплексам (КТЭК) на основе цикла Аллама, который позволяет сократить выбросы CO_2 почти до нуля, не вынуждая отказываться от сжигания углеводородов или повышать стоимость отпускаемой электроэнергии [1].

Одной из проблем на пути реализации цикла Аллама является конструкция кислородно-топливной камеры сгорания. В ней топливо сжигается при сверхкритических давлениях в среде, разбавленной диоксидом углерода, однако в литературе отсутствует глубокое сравнительное исследование существующих кинетических механизмов кислородно-топливного горения в широком диапазоне давлений и концентраций кислорода и углекислого газа в горючей смеси.

В настоящей работе произведено сравнительное исследование кинетических механизмов кислородно-топливного горения UoS sCO_2 2.0, OXY-NG и Skeletal, а также популярного воздушно-топливного механизма GRI 3.0 в программе Chemkin 18.2 по времени задержки воспламенения в диапазоне давлений 1–297 атм., массовых долей CO_2 в окислителе γ 0–0,95 и коэффициентов избытка воздуха α 0,5–2,0.

Установлено, что механизмы UoS sCO_2 2.0 и OXY-NG показывают хорошую сходимость при моделировании времени задержки воспламенения только при давлении 297 атм. независимо от γ и α и поэтому нуждаются в сравнительной верификации на экспериментальных данных для определения наиболее точного из них. Показано, что механизмы GRI 3.0 и Skeletal сильно завышают время задержки воспламенения по сравнению с наиболее точными механизмами UoS sCO_2 2.0 и OXY-NG и поэтому не подходят для моделирования задержки воспламенения при кислородном сжигании топлива.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10291, <https://rscf.ru/project/23-79-10291/>.

Литература

1. **R. Allam, 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. — Vol. 114. — P. 5948–5966.

*А.А. Горбунов**, асп.; *рук. А.Ю. Рябчиков***, д.т.н., проф.
(* АО «УТЗ», **УрФУ, г. Екатеринбург)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТРУБ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА КОНДЕНСАТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА АО «УТЗ»

Увеличение единичных мощностей паровых турбин ставит задачу эффективного использования поверхности охлаждения конденсаторов. Основным путем решения этой задачи является рациональная компоновка трубного пучка конденсатора. Для решения задачи по эффективной организации требуемой площади теплообмена, заводом изготовителем конденсатора выполняется подбор количества и геометрических параметров труб теплообмена.

При разработке конденсатора в составе паровой турбины определение площади поверхности теплообмена последнего (суммарная поверхность всех труб теплообмена с наружной (паровой) стороны), представляет собой первостепенную задачу и напрямую определяет геометрические размеры конденсатора. Для расчета площади теплообмена выполняется конструкторский расчет. В качестве исходных данных задается ряд величин, включая расход охлаждающей воды, давление пара за последней ступенью, расчетную температуру охлаждающей воды на входе в конденсатор и гидравлическое сопротивление.

В работе оценена компактность габаритных характеристик конденсатора в зависимости от относительного шага разбивки трубного пучка и наружного диаметра труб теплообмена. В работе выполнены гидравлические расчеты конденсаторов с различными геометрическими характеристиками труб теплообмена, вариантами подключения по охлаждающей воде и различной степенью загрязнения внутренней поверхности труб. В работе выполнен анализ изменения величины площади теплообмена серийных конденсаторов типа К-3100 и К-3650 в зависимости от применения труб с различными геометрическими характеристиками. На основании проделанных работ предложено обоснование выбора труб для использования в конденсаторах производства АО «УТЗ».

Литература

1. **Великович В.И.** Конденсаторы теплофикационных паротурбинных установок Уральского турбинного завода / В.И. Великович, Ю.М. Бродов, М.А. Ниренштейн // Теплоэнергетика — № 8 — 2008. — С. 25–29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11729015> (дата обращения 06.11.2024).

*Л.Е. Гришин, студ.; Д.С. Ковалев, асп.; М.В. Опарин, асп.;
рук. П.А. Брызгунов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рост потребности в водороде из-за постепенного перехода на низкоуглеродные технологии и использования в энергетике и различных отраслях промышленности по разным источникам составляет 50–70%. Поэтому вопросы, связанные с производством и транспортировкой водорода, становятся более актуальными. Существуют различные способы транспортировки водорода, но наиболее эффективным с точки зрения энергоемкости и стоимости является транспорт в виде аммиака. Именно поэтому сейчас ведутся исследования в области эффективного производства аммиака и электроэнергии. Основная проблема производства аммиака по процессу Габера-Боша — высокое потребление энергии.

Данная работа посвящена разработке и исследованию кислородно-топливного энерготехнологического комплекса для совместного производства аммиака и электроэнергии из угольного топлива.

Предлагаемая установка [1] реализует цикл, в котором осуществляется совместная выработка электроэнергии и синтез-газа. Из получаемого в ходе газификации синтез-газа выделяют водород, используемый для производства аммиака и монооксид углерода, который дожигается в кислородной камере сгорания. Азот для производства аммиака и кислород для сжигания газообразного топлива вырабатывается в воздухоразделительной установке.

У предлагаемой установки есть ряд преимуществ, главным из которых является минимизация выбросов вредных веществ в атмосферу благодаря захоронению избытков продуктов сгорания, а также более высокий в сравнении с отдельным производством электроэнергии и аммиака КИТТ.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации государственное задание № FSWF-2023-0014, соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.).

Литература

1. **Патент РФ № 2 811 228, 01.11.2024.** Кислородно-топливная энергоустановка для совместного производства аммиака и электроэнергии / Брызгунов Н.А., Роголев Н.Д., Роголев А.Н. [и др.].

*Н.М. Бонадыков, В.Р. Жихарева, М.Д. Семенов, студенты;
рук. Д.Д. Львов, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТЭЦ

Ежегодное увеличение спроса на электрическую энергию сопровождается высокими выбросами вредных веществ в атмосферу. В связи с этим для дальнейшего индустриального развития общества и обеспечения приемлемой концентрации вредных выбросов в атмосфере необходимо разработать научно-технические решения для обеспечения экологичности и экономичности производства электрической и тепловой энергии. Одними из способов являются модернизация и оптимизация существующих энергетических комплексов. Модернизация энергокомплекса предполагает внедрение уникальных схемных решений и современного теплотехнического оборудования, нехватка которого наблюдается на рынке в настоящий момент. Оптимизация работы уже существующих энергетических комплексов не требует больших инвестиционных вложений и какого-либо внедрения новых цепочек в технологический процесс. Оптимизировать работу энергокомплекса возможно за счет внедрения цифрового двойника, который позволит определить оптимальный режим работы основного и вспомогательного оборудования и необходимые расходы энергоносителей.

В работе получена динамическая модель тепловой схемы турбины в ПО SimInTech (Simulation In Technic). Для верификации параметров в характерных узла схемы проводился математический расчет тепловой схемы.

В результате получена динамическая модель, имитирующая работу паротурбинного блока, которая может быть использована для определения параметров теплоносителя в характерных точках системы при изменении нагрузки турбины. Данная модель позволяет в динамике определять параметры системы при внешнем воздействии (открытие, закрытие задвижек; включение, выключение насосов; открытие байпасных линий) на её математически узлы. Отклонение параметров динамической модели с результатами математического расчета составляет не более 5%.

Литература

1. **Справочная система SimInTech** (v20.05.2024) [Электронный ресурс]. URL: https://help.simintech.ru/#4_nachalo_raboty/KEY_nachalo_raboty.html/ (Дата обращения: 21.05.2024)
2. **Щекатуров А.М., Корсаков А.Р.** Методика моделирования динамики паротурбинной установки ТК-35/38-3, 4 на базе кода HS //М.: ДМК Пресс. — 2022.

А.А. Ухлин*, асп.; рук. В.И. Брезгин**, д.т.н., проф.
(*АО «УТЗ», **УрФУ, г. Екатеринбург)

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ГЕОМЕТРИИ КАМЕРЫ ОТБОРА ПАРА НА ОСНОВНОЙ ПОТОК

Современные реалии отечественной теплоэнергетики для турбиностроителей диктуют условия производства турбоагрегатов высокой эффективности, повышенной надёжности и при этом универсальности — возможности работать турбине в широком диапазоне изменения нагрузок. Это обуславливает необходимость совершенствования конструкции турбин теплофикационного типа, поскольку именно эти турбины имеют больше всего возможностей и условий для эксплуатации.

Одним из основных отличий паровых турбин с регулируемыми отборами пара является конструкция камеры отбора. Известно, что по отношению к основному потоку наиболее оптимальным вариантом является форма щелевого зазора с минимальным осевым расстоянием. При этом не зависимо от наличия расхода пара в отбор в основном потоке проточной части происходит рост потерь из-за естественного разрастания паразитного вихревого движения между ступенями, что негативно сказывается на КПД ступени.

В рамках работы по исследованию регулируемых отборов с помощью средств математического моделирования пакета ANSYS CFX была выполнена верификация натурных экспериментальных данных для камеры регулируемого отбора [1] с последующим моделированием отбора за счёт установки кольцевого диффузора гладкого и ступенчатого типов.

Для идентичных начальных условий при $\lambda=0,22$, $u/c_0=0,31$ и отсутствии расхода пара в отбор, а также относительной длины диффузора $L/l_2=0,67$, степени раскрытия $n=2,2$, для вариантов с диффузором зафиксировано изменение КПД отсека по отношению к варианту без диффузора: с гладким диффузором КПД отсека увеличилось на 0,4%, со ступенчатым диффузором — на 0,6%.

Результаты показали целесообразность дальнейшего рассмотрения данной темы и разработки конструкции переходного диффузора поворотного типа для возможного внедрения на производстве.

Литература

1. Алёшин А.И. и др. Исследование условий теплообмена и газодинамики в камерах отбора паровых турбин: Отчёт // Всесоюзный дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт имени Ф.Э. Дзержинского. — Москва, 1978. — 88 с.

*Цинь Юань, студ.;
рук. Е.Н. Олейникова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРИГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ ДО 300 МВт ДЛЯ УСЛОВИЙ КИТАЯ

Тригенерационные установки более эффективно используют химическую энергию топлива, так как одновременно производят электричество, тепло и холод. Совместное производство данных видов энергии позволяет сократить потери в процессе их транспортировки. Рациональное развитие тригенерационных проектов может улучшить структуру потребления энергии и структуру энергоснабжения в Китае, а также удовлетворить стремление страны к сокращению выбросов вредных веществ, что принесет значительные экономические и социальные выгоды. Техничко-экономический анализ таких проектов может послужить основой для разработки проектов комплексного энергоснабжения.

В данной работе проводится технико-экономический анализ схем тригенерационных установок электрической мощностью до 300 МВт для условий Китая. Проведен анализ текущего состояния развития тригенерационных технологий и соответствующей государственной политики в Китае и других странах. Рассмотрены области в Китае, подходящие для развития таких электростанций. Предложены тепловые схемы малых установок электрической мощностью до 25 МВт, средних — до 50 МВт и большой мощности — до 300 МВт. Проанализированы подходящие для их внедрения объекты и возможность реализации каждого из них. С помощью специализированного программного продукта рассчитаны технико-экономические показатели установок, такие как выработка электроэнергии, отпуск тепла, удельный расход топлива, эффективность выработки каждого вида энергии и основные выбросы вредных веществ для каждого сценария. Затем для каждой схемы определены основные финансово-экономические показатели, такие как инвестиционные затраты, эксплуатационные затраты, чистая приведённая стоимость (NPV) и внутренняя норма доходности (IRR).

Приведен анализ полученных технико-экономические показатели всех схем для каждого диапазона мощности, сделаны соответствующие выводы о целесообразности внедрения данных установок. В сочетании с историческим опытом Китая и других стран даются некоторые предложения по дальнейшему улучшению экономичности тригенерационных установок и повышению их экологической безопасности.

*А.С. Мальцев, асп.; М.В. Опарин, асп.;
рук. А.Н. Рогалев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК ВОДОРОДА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ

Водород играет ключевую роль в новом энергетическом переходе, нацеленном на отказ от углеводородной зависимости. Согласно Распоряжению Правительства РФ [1], прогнозируется увеличение объемов производства и расширение сфер применения водорода, наряду с масштабированием установок для его генерации, что позволит стране выйти на лидирующие позиции в мировом экспорте водорода. Одним из важнейших инструментов для достижения этих стратегических целей является разработка специализированного программного обеспечения.

В рамках данной работы было разработано ПО, предназначенное для оценки себестоимости водорода. В качестве лингвистического обеспечения выбран язык программирования Python. Для оптимизации цепочек поставок водорода используется алгоритм Дейкстры, обеспечивающий построение оптимальных маршрутов транспортировки по критерию себестоимости. Алгоритм цепочек поставок представлен на рисунке 1. Программа позволяет проводить сценарный анализ, моделировать поставки водорода, а также осуществлять построение и расчет логистических цепочек от потенциальных поставщиков к конечным потребителям.

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. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р к 2024.



Рис. 1. Алгоритм оптимизации цепочек поставки водорода

*В.Р. Жихарева, Н.М. Бонадыков, студенты;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОТРУБНЫХ КОТЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ (МВС)

В настоящее время в мире набирает актуальность борьба с глобальным потеплением, которое вызвано выбросами углекислого газа (CO_2). Для снижения выбросов CO_2 на тепловых электростанциях и в котельных на данный момент активно применяются традиционные подходы, но в последнее время происходит ускоренное развитие альтернативных источников энергии, в частности, водородной энергетики [1]. Перспективным решением для снижения выбросов CO_2 в сфере энергетики является сжигание метано-водородной смеси (МВС), но такой переход может вызвать изменения в теплотехнических характеристиках оборудования, следовательно, это нужно учитывать в научных исследованиях [2].

В работе исследовано влияние перехода на сжигание МВС на эффективность работы оборудования и выбросы углекислого газа при расчете действующего газотрубного водогрейного котла.

В результате получены графики зависимости выбросов CO_2 (рис. 1, а) и КПД брутто (рис. 1, б) в зависимости от содержания водорода в составе МВС при различных нагрузках котельного агрегата.

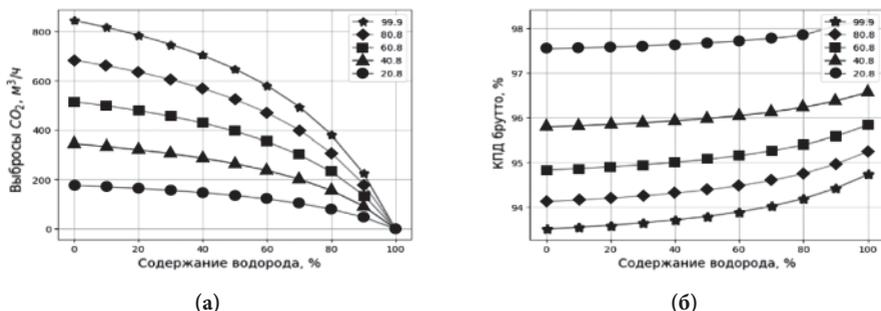


Рис. 1. Графики зависимости выбросов CO_2 (а) и КПД брутто (б) от содержания водорода в составе МВС

Литература

1. Экология, энергетика, энергосбережение: бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. — Москва: ПАО «Мосэнерго», 2023. Вып. 4. Особенности сжигания и транспортировки водород содержащих газов / [П.В. Росляков]. — 2023. — 42 с.
2. Росляков П.В. Оценки возможностей снижения выбросов парниковых газов при сжигании топлив в котлах ТЭС и котельных / П.В. Росляков, Б.А. Рыбаков, М.А. Савитенко [и др.] // Теплоэнергетика. 2022. № 9. С. 97–106.

*В.Р. Жихарева, А.И. Сыртланова, студенты;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА

В настоящее время обратный инжиниринг, как один из перспективных методов, становится важной альтернативой для стабильного развития машиностроения. Он используется с целью исследования объекта техники для получения информации о принципе работы, его конструктивных особенностях и взаимосвязях между ними, возможных способах производства. Это направление особо актуально для горелочных устройств в связи с импортозамещением, а также для изучения конструктивных и функциональных особенностей.

В работе исследовано горелочное устройство фирмы «Weishaupt» G70/3-A ZM-NR (W-FM 100/200) (рис. 1) с целью получения информации о заполнении пламенем горелки объема топочной камеры и влияния этого параметра на процесс теплообмена [1, 2].

В результате эксперимента были получены динамические графики относительной длины пламени в топочной камере. На основании полученных данных будет возможно отследить работу патрубков подачи газа в горелочное устройство и провести численное моделирование горелочного устройства на различных режимах работы.

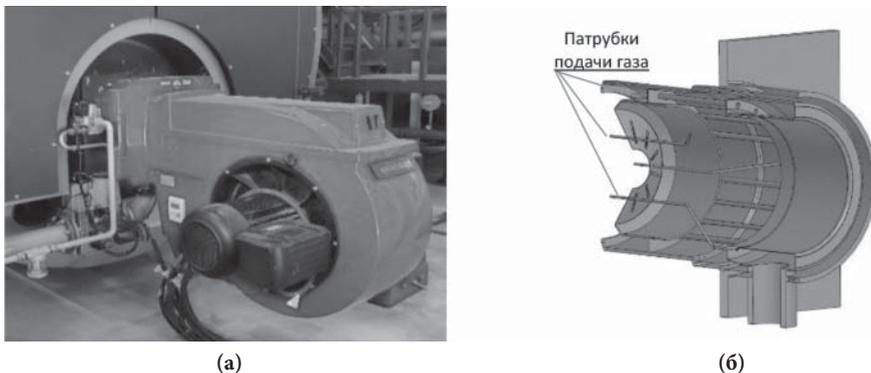


Рис. 1. Внешний вид (а) и 3D-модель (б) горелочного устройства фирмы «Weishaupt»

Литература

1. Газовые горелки G70/3-A ZM-NR (W-FM 100/200) [Электронный ресурс] // URL: https://www.weishaupt.ru/upload/iblock/7d6/2585_G70-3-A-ZM-NR-W-FM-100-200.pdf / (дата обращения: 30.09.2022).
2. **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.

Секция 37

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Processes and apparatuses of industrial heat engineering

Председатель секции: к.т.н., доцент Горелов Михаил Валентинович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Пурдин Михаил Сергеевич

*А.А. Гузеев¹, асп.; Р.Е. Цуканов¹, асп.; D. Rosario², студ.;
рук. Н.М. Савченкова¹, к.т.н., доц.; рук. И.Ф. Самсон², к.т.н., доц.
(¹НИУ «МЭИ», Москва; ²INTEC, Santo Domingo)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕМЕНТАХ СОЛНЕЧНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА АДсорбЦИОННОГО ТИПА

Изучение нестационарной теплопроводности имеет важное значение для разработки эффективных систем холодильников, особенно солнечных холодильников адсорбционного типа. Цель работы — разработка программного кода для решения одномерных задач нестационарной теплопроводности.

Математическая модель основана на уравнении теплопроводности, для решения которого необходимо задать начальные и граничные условия. Алгоритм решения включает дискретизацию, построение системы линейных уравнений и их решение. Разработан программный код, предназначенный для вычисления температурных полей в различных вариантах компоновки испарителя и холодильной камеры солнечного холодильника адсорбционного типа.

Для проверки корректности работы программы были проведены тесты, в том числе сравнение с аналитическими решениями. Результаты расчетов показали высокую точность полученных данных. Графики, иллюстрирующие изменение температуры во времени и пространстве, позволяют лучше понять физические процессы в элементах солнечного холодильника.

Исследование сосредоточено на решении одномерных задачах нестационарной теплопроводности. В будущем работы могут быть направлены на оптимизацию алгоритмов расчетов испарителя и холодильной камеры, а также на верификацию результатов с данными планируемого эксперимента.

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. **Патанкар, С.В.** Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена: Пер. с англ. / С.В. Патанкар. — М.: Издательство МЭИ, 2003. — 312 с.

*Г.И. Парфенов, асп.; М.О. Абышкин, студ.;
рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКРАНОВ В ОКОННЫХ БЛОКАХ

При организации технологических процессов и обеспечении необходимых параметров микроклимата в производственных и административно-бытовых помещениях на промышленных предприятиях важным аспектом является составление теплового баланса. Среди теплопоступлений особо следует выделить тепловыделения от оборудования, людей, инсоляцию. Повышенные теплопоступления требуют организацию работы системы охлаждения воздушной среды помещения, в том числе и с помощью системы кондиционирования воздуха, что приводит к дополнительным затратам энергетических ресурсов. Следовательно, борьба с избыточными теплопоступлениями в помещения является актуальной задачей.

В диссертационном исследовании [1] были разработаны инновационные конструкции оконных блоков с теплоотражающими экранами, позволяющими значительно снизить как тепловые потери в холодный период года, так и инсоляционные теплопоступления — в теплый. При выполнении имитационного моделирования теплопередачи через данные конструкции в работе [1] не были учтены инсоляционные теплопоступления.

На основании компьютерного имитационного моделирования процесса теплопередачи через оконный блок с теплоотражающими экранами с помощью метода конечных элементов была определена эффективность использования ставней, состоящих из полированных металлических поверхностей и заполненных аргоном прослоек, для снижения инсоляционных поступлений в помещение. Данные результаты могут быть использованы для доработки имитационной модели монотонного и динамического микроклимата в помещении, и последующего уточнения экономической эффективности применения теплоотражающих экранов в оконных конструкциях [1].

Исследование выполнено при поддержке гранта Фонда содействия инновациям, предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по договору №3366ГССС15-Л/100096.

Литература

1. **Смирнов Н.Н.** Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис.... канд. техн. наук: 05.14.04. Иваново, 2022.

*Д.А. Смирнов, студ.; Г.И. Парфенов, асп.;
рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Целью научной работы является создание имитационной модели аэродинамических и тепломассообменных процессов, происходящих в бактерицидном модуле.

В последнее время в связи с всплеском заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём и носящих эпидемический характер, особой актуальностью обладают вопросы, связанные с бактерицидной обработкой воздуха. Одним из энергоэффективных мероприятий в системах вентиляции и кондиционирования является использование теплоты (холода) вытяжного воздуха в камерах смешения. Утилизация энергии вытяжного воздуха в рекуперативных теплообменниках при подогреве (охлаждении) наружного воздуха имеет ограниченные температурные режимы применения [1]. Полученный в камерах смешения воздух целесообразно обрабатывать в бактерицидных ячейках для его обеззараживания и дальнейшей подачи в места массового пребывания людей. В данном случае будут достигаться энергосберегающий эффект в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также выполняться требования по охране здоровья обслуживающего персонала.

В данной работе выполнено моделирование прохождения потоков приточного воздуха через бактерицидный модуль. Данный модуль встроен в систему кондиционирования воздуха, обеспечивающую создание микроклимата в помещениях полномасштабного тренажера блочного щита управления АЭС и лаборатории прецизионных систем формирования микроклимата, созданных в ИГЭУ.

В ходе моделирования были построены скоростные и температурные поля в обеззараживателе, а также линии потоков воздуха. Определено падение давления воздуха в модуле. Рассматривались различные варианты расположения бактерицидных ламп в пространстве воздуховода.

При моделировании был использован метод конечных элементов, а также фундаментальные законы тепломассообмена и аэродинамики.

Литература

1. **Пыжов В.К, Смирнов Н.Н.** Системы отопления, вентиляции и кондиционирования: учебник. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019.

Д.А. Вдовин, студ.;
 рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц.;
 А.Б. Горяев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТВЭЛОВ

В наше время количество потребляемой электроэнергии продолжает расти и атомная энергетика одна из перспективных видов получения её. Для развития ТВЭЛов нужна тепловая модель расчёта и моделирование процессов теплообмена внутри ТВЭЛа чтобы обоснованно открывать и использовать новые виды материалов для ядерного топлива и оболочки ТВЭЛов.

Цель работы: разработка тепловой модели цилиндрических ТВЭЛов для определения поля температур.

В ходе работы были решены задачи: получения системы дифференциальных и аналитических уравнений, учёт теплопроводности газовой смеси в зазоре оболочки ТВЭЛа, учёт нелинейной лучистой составляющей тепловыделения.

Система уравнений переноса теплоты:

$$q_l \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot \left(r \cdot \lambda_T \cdot \frac{dT}{dr} \right) \Big|_{r=r_{T2}}$$

$$q_l = \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot \left(r \cdot \lambda_r \cdot \frac{dT}{dr} \right) \Big|_{r=r_{c1}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{c1} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left[\left(\frac{T_{r1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{c1}$$

$$q_l = \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot \left(r \cdot \lambda_{об} \cdot \frac{dT}{dr} \right) \Big|_{r=r_{c2}}$$

где q_l — линейная тепловая мощность; λ_T , λ_r и $\lambda_{об}$ — теплопроводность топлива, смеси газов и оболочки; r_{T2} , r_{c1} и r_{c2} — радиус топлива, внутренней стенки оболочки, и внешней стенки оболочки; ε — степень черноты материала оболочки; σ — постоянная Стефана-Больцмана.

Граничные условия:

$$T(r) \Big|_{r=r_{c2}} = T_{c2} \text{ и } q_l = const$$

Литература

1. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. // изд. 3-е. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 550 с.

*Я.Д. Лагонская, студ. (СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов),
В.А. Косов, М.А. Косов, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов)*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СУШИЛКА ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННОГО МЕЛА

Высушивание химически осажденного мела является завершающей стадией технологического процесса его получения и проводится обычно в сушилках барабанного типа при использовании в качестве сушильного агента воздуха или продуктов сгорания топлива. Сушка в таких сушилках имеет низкую интенсивность и характеризуется высокой энергозатратностью, составляющей 5000...7550 кДж/кг испаренной влаги.

В производстве химически осажденного мела предлагается использовать многоленточную паровую атмосферную сушилку [1], обладающую повышенной энергетической эффективностью. Сушилка включает в себя замкнутые горизонтальные ленточные транспортеры с высушиваемым продуктом и паровые трубчатые регистры, которые одной своей стороной соединены с паровыми эжекторами, в которые подается первичный греющий пар повышенного давления из котельной, а с другой стороны каждый регистр соединен с конденсатоотводчиком и воздушным клапаном. Сушильным агентом в рабочей камере служит пар испаряемой из влажного материала жидкости, а греющей средой в регистрах является смесь данного пара с паром из котельной. Греющая смесь имеет давление насыщения выше атмосферного.

Расчетами установлено, что при давлении первичного пара в эжекторах равном 0,48 МПа, удельный расход теплоты на восполнение затрат на нагрев исходного влажного материала, испарение влаги, перегрев пара испарения, на потери теплоты с выводимым конденсатом и через стенки корпуса в окружающую среду, составляет 4100 кДж/кг испаренной влаги. Доля первичного пара высокого давления в греющей смеси в трубчатых регистрах составляет 0,41 кг/кг смеси. По отношению к воздушным сушилкам с паровыми калориферами и однократным использованием сушильного агента (без рециркуляции) удельный расход (кг/кг испаренной влаги) греющего первичного пара в предложенной многоленточной паровой сушилке меньше в 2,43 раза.

Литература

1. Пат. РФ № 2718632, МПК F 26 В 17/04, F 26 В 21/04. Многоленточная паровая сушилка / Печенегов Ю.Я., Олискевич В.В., Царюнов А.В. и др. Оpubл.10.04.20, бюл. № 10.

Д.А. Вдовин, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ He-Kr-Xe

В энергетике (особенно атомной) существуют случаи теплообмена, где необходимо учитывать теплофизические свойства инертных газов. При получении зависимостей этих свойств от температуры и давления можно столкнуться с трудностями, связанными с разнообразием функций. Для достаточно точного определения свойств необходимо разработать подход и верифицировать получаемые значения, сопоставляя с экспериментом.

Цель работы: разработка подхода к определению теплопроводности инертных газов и их смесей при различных давлениях и температурах.

В ходе работы были решены задачи: получение зависимости динамической вязкости и коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры по формуле Сазерленда, учет поправки на давление, получение зависимости коэффициента теплопроводности газовой смеси.

Зависимости динамической вязкости и теплопроводности от температуры определяется по формуле Сазерленда, которая даёт достаточно точные значения в широком диапазоне температур:

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot \frac{T_0 + c}{T + c} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5} \quad \text{и} \quad \lambda(T) = \lambda_0 \cdot \frac{T_0 + c}{T + c} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5},$$

где μ_0, λ_0 [1] и постоянная c , подбираемая для каждого газа индивидуально.

К коэффициенту теплопроводности от температуры вводится поправка на давление $\lambda(P)$ по формуле $\lambda(T, P) = \lambda(T) + \lambda(P)$, которая применяется для Kr и Xe [2]. Вязкость и теплопроводность He в исследуемом интервале температур и давлений изменяется слабо (на 0,2%).

Теплопроводность смеси по формуле Уилки [3], с погрешностью 6%:

$$\lambda_{см} = \sum_i \frac{\lambda_i \cdot x_i}{\Phi_i}, \quad \text{где} \quad \Phi_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{8}} \cdot \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{\frac{1}{4}}\right]^2,$$

где x_i — мольная доля i -го компонента смеси, Φ_i — функция Уилки.

Работа выполнена при фин. поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, гос. задание № FSWF-2023-0017.

Литература

1. **Варгафтик Н.Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей // М.: Наука, 1972.
2. **Варгафтик Н.Б.** Справочник по теплопроводности жидкостей и газов // М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. **Бретшнайдер С.** Свойства газов и жидкостей // М.-Л: Химия, 1966.

Поженко В.А., асп.; А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ ПРИ ПРОЦЕССАХ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ

При утилизации теплоты влажных газов в теплообменниках возможна конденсация водяных паров. Влияние конденсата на сопротивление аппарата с влаговываждением недостаточно изучено. По [1] оно может увеличиваться до 1,6 раза, что очень значительно.

В данной работе проведена оценка влияния плёнки конденсата на аэродинамическое сопротивление трубчато-ребрѐнного теплообменника. Проходное сечение канала указано на рисунке 1. Принято, что весь конденсат распределѐн равномерно по поверхности теплообменника. Считаем, что толщина плѐнки известна. Падение давления на трубном пучке считали с использованием критериального числа Эйлера:

$$\Delta P = 2,7n_p \left(\frac{l}{\frac{4f_{пл}}{\Pi_{пл}(\delta_{пл})}} \right)^{0,3} \left(\frac{G}{F_{пл}(\delta_{пл})\rho v} \right)^{-0,25} \left(\rho \left(\frac{G}{F_{пл}(\delta_{пл})\rho} \right)^2 \right),$$

где $f_{пл}$, $\Pi_{пл}$ — площадь и периметр одного межребѐрного канала с учётом толщины плѐнки, $F_{пл}$ — площадь проходного сечения теплообменника с учётом плѐнки, G , ρ , v — расход, плотность, кинематическая вязкость воздуха, n_p — количество рядов теплообменника, l — длина обтекания ребристой трубы, d — наружный диаметр трубки теплообменника.

Были проведены расчѐты перепада давления в теплообменнике в зависимости от толщины плѐнки, при трёх значениях расхода влажного воздуха. Показано что рост сопротивления при толщине плѐнки 0,6 мм составляет от 2,32 до 2,38 раз в зависимости от расхода (см. рис. 2).

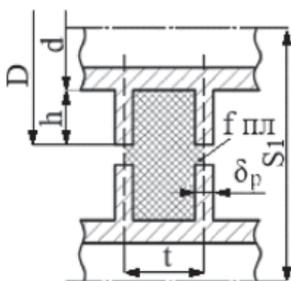


Рис. 1. Схема узкого сечения межребѐрного канала

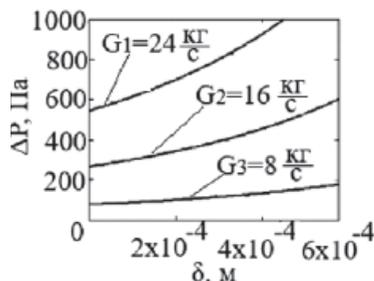


Рис. 2. Зависимость $\Delta P = f(\delta_{пл})$, при различных расходах газа

Литература

1. Баркалов Б.В., Павлов Н.Н., Амирджанов С.С. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2/4-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1992. — 416.

*Д.В. Шульц, студ., В.А. Косов, М.А. Косов, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ЛИСТОВОЙ ПОВЕХНОСТЬЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко используются в нефтеперерабатывающей и химической промышленности для охлаждения атмосферным воздухом жидких и газовых технологических систем. Теплопередающая поверхность в стандартизованных АВО выполняется из оребренных труб. Практика эксплуатации таких АВО показала ряд их недостатков — сложность изготовления, большая металлоемкость, засоряемость, наличие в трубчатке зон со слабой продуваемостью и др.

Названные недостатки в значительной степени устранены в разработанных нами новых конструкциях АВО с листовой поверхностью теплопередачи [1, 2, 3]. Теплообменные матрицы в устройствах [1, 2] выполнены из гофрированных пластин, образующих щелевые каналы для прохода теплоносителей по схеме противотока. Охлаждение технологического продукта возможно до температуры, максимально приближенной к температуре охлаждающего атмосферного воздуха. В устройстве [3] теплообменная матрица в форме цилиндрического кольца размещена в цилиндрическом кожухе и выполнена из одного изогнутого листа с образованием чередующихся вертикальных щелевых каналов и секторных каналов для прохода теплоносителей.

Аппараты [1, 2, 3] имеют пониженное гидравлическое сопротивление, значительно меньшую удельную металлоемкость, большую энергетическую эффективность по отношению к серийным трубчатым АВО, не требуют прочных фундаментов, просты в обслуживании, занимают малую территорию и рекомендуются к использованию для охлаждения атмосферным воздухом технологических систем с преимущественно небольшим давлением (до 0,3...0,5 МПа).

Литература

1. Пат. РФ № 2759622, МПК F 28 D 5/00, F 28 D 1/03. Аппарат воздушного охлаждения / Печенегов Ю.Я., Косов В.А., Косов М.А. и др. Опубл.16.11.2021, бюл. № 32.
2. Пат. РФ № 2773426, МПК F 28 D 5/00, F 28 F 3/10. Пластинчатый аппарат воздушного охлаждения / Печенегов Ю.Я., Косов В.А., Косов М.А. и др. Опубл.03.06.2022, бюл. № 16.
3. Пат. РФ №2806733, МПК F 28 D 5/00, F 28 D 5/02, F 25 B 39/00, F25B 39/04. Воздушный конденсатор пара / Печенегов Ю.Я., Косов В.А., Косов М.А. Опубл.03.11.2023, бюл. № 31.

Секция 38

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., доцент Пурдин Михаил Сергеевич

Н.В. Авдокунин, аспирант; рук. И.В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ ЦОД

В работе рассматриваются потенциал энергосберегающего эффекта теплоты, выделяемой при эксплуатации дата-центров.

Центр обработки данных (ЦОД) является объектом, который при своем функционировании превращает почти в полном объеме потреблённую электроэнергию в тепловую. На данный момент такая энергия, отводимая в атмосферу, является сбросной, она представляет скрытый потенциал энергосбережения. Тепловую энергию можно использовать в двух направлениях: на внешнее и внутреннее использование.

Сбросную теплоту, выделяемую стойками с оборудованями, можно использовать на собственные нужды для подготовки приточного воздуха в системе фрикулинга — охлаждение стоек с оборудованием за счет наружного воздуха. Удаляемый воздух из машинного зала смешивается с наружным воздухом, обеспечивая оптимальные параметры приточного воздуха. При данном методе утилизации сбросной теплоты особое значение имеет месторасположение центров обработки данных. Охлаждающий воздух в системе фрикулинга имеет параметры окружающей среды, значит доля утилизируемой энергии зависит от климатических условий местоположения ЦОД. Эта доля по расчётам для различных регионов России составляет для Краснодара — 36%; для Москвы — 47%; для Екатеринбурга — 51% от количества тепловой энергии, выделяемой оборудованием ЦОД. По предварительным оценкам значение удельной экономии при внешнем использовании сбросной теплоты на нужды теплоснабжения объектов муниципальной сферы может достигать для Краснодара — 25%; для Москвы — 18%; для Екатеринбурга — 19%.

В ЦОД с системами охлаждения на основе холодильных машин доля утилизируемой энергии сбросной теплоты при внешнем использовании зависит от энергетических характеристик теплообменника-утилизатора, теплового насоса, отношения удельных расходов условного топлива на выработку электрической и тепловой энергии. При минимальных значениях влияющих параметров (и максимальной температуре конденсации) доля экономии составляет 18...20% от количества теплоты, поступающей в воздух ЦОД.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России в рамках государственного задания №SFWF 2013 0017.

*Г.И. Парфенов, асп.; М.О. Абышкин, студ.;
рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАВНЕЙ С СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ В ОКНАХ

В Приказе Минстроя России от 17.11.2017 г. №1550/пр [1] приведены требования для проектируемых, реконструируемых, капитально ремонтируемых зданий, строений, сооружений по снижению удельного расхода тепловой энергии с 1 января 2028 г. не менее чем на 50 процентов по отношению к базовому уровню, а также рекомендуется устанавливать в инженерные системы вышеуказанных объектов возобновляемые и альтернативные источники энергии и вторичных энергоресурсов, при этом обеспечивая удельное поступление энергетических ресурсов от указанных источников в инженерные системы не менее 20 кВт·ч/м³ в год (с 1 января 2028 года). Данное требование созвучно с общемировыми требованиями по строительству «пассивных» зданий.

Учёными ИГЭУ были разработаны [2] конструкции оконных блоков с энергоэффективными ставнями, позволяющими не только снижать теплопотери и теплопоступления из/в помещение, но и с помощью солнечной фотоэлектрической панели, установленной со стороны окружающей среды, преобразовывать инсоляцию в электрическую энергию.

В ходе компьютерного имитационного моделирования процесса теплопередачи через окно, установленное в световой проем стены здания, было определено количество солнечной энергии, поступающей на наружную поверхность энергоэффективного ставня для различных периодов года, а также рассчитана величина электрической энергии, генерируемой в солнечной панели.

Исследование выполнено при поддержке гранта Фонда содействия инновациям, предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по договору №3366ГССС15-L/100096.

Литература

1. **Приказ Минстроя России от 17.11.2017 г № 1550/пр** «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» (Зарегистрирован в Минюсте России 23.03.2018 г. № 50492).
2. **Пат. № 154163 Российская Федерация, МПК Е 06 В 9/17.** Многофункциональный энергоэффективный ставень / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев и др.; заявитель и патентообладатель ИГЭУ. — №2014137231/12, заявл. 15.09.2014; опубл. 20.08.2015, бюл. № 23.

А.А. Пилипенко, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ЦОД В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Во время работы центров обработки данных (ЦОД) выделяется большое количество теплоты, которое в результате работы системы кондиционирования воздуха бесполезно выбрасывается в атмосферу. Задачей исследования ставится использование данной теплоты на нужды системы теплоснабжения жилых зданий.

Сравним 3 возможных варианта компоновки такой системы:

1. Без утилизации теплоты (холодильная машина с воздушным охлаждением конденсатора) и ГВС.
2. С утилизацией теплоты на подогрев воды на 1 ступени контура ГВС (та же ХМ, только с водяным конденсатором).
3. С утилизацией теплоты на подогрев воды до температуры контура ГВС.

Расчет проводился для жилого дома, потребляющего 3 МВт тепловой мощности на ГВС. Такой же холодильной мощностью обладает ЦОД. Результаты расчета представлены [1] в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчёта

	Электрическая мощность на сжатие, кВт	Годовые затраты топлива, т у.т.	Затраты топлива на ГВС, т у.т.	Суммарные затраты, т у.т.	Используемый фреон
1	820	920	1700	2520	R410A
2	820	920	680	1500	R410A
3	1070	1200	0	1070	R134A

Было установлено, что в случае полного подогрева воды необходимо использовать фреон R134A [2], тогда как при раздельной работе и нагреве на 1 ступени подходит фреон R410A [3]. Расчет проводился без учета затрат энергии на прокачку теплоносителя между ТП и ХМ.

Литература

1. **Гаряев А.Б., Яковлев И.В., Клименко А.В. [и др.]** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях — 4-е изд., перераб. и доп. // Москва: НИУ МЭИ, 2021. — 504 с.
2. **Цветков О.Б., Лаптев Ю.А.** Таблицы свойств холодильных агентов: Учеб.-метод. пособие. // СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. — 52 с.
3. **Котзаогланиан П.** Пособие для ремонтника. Справочное руководство по монтажу, эксплуатации, обслуживанию и ремонту современного оборудования холодильных установок и систем кондиционирования (перевод с франц. под редакцией В.Б. Сапожникова). — М. // Эдем, 2007. — 832 с.

*И.А. Степанов, асп., Е.Д. Туленинов, студ.,
рук. В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
рук. Ч.А. Кадыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОКОН НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ЧЕРЕЗ НАРУЖНОЕ ОГРАЖДЕНИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Качественный анализ использования современных энергосберегающих окон в зданиях старой постройки показал, что это может привести:

1. К снижению освещенности в помещении и уменьшению площади освещенности в помещении, которая удовлетворяет нормативные требованиям по естественной освещенности в соответствии с классом рассматриваемого помещения или к изменению класса этого помещения.
2. Толщина современных энергосберегающих окон меньше толщины окон, рекомендуемых по нормам прошлого века, что сказывается на величине площади оконных откосов, а значит на величине тепловых потерь через примыкающие к окнам непрозрачные части наружных ограждений.

Поэтому возникает вопрос: «При замене старых окон на энергосберегающие величина снижения тепловых потерь будет больше или меньше величины прироста тепловых потерь через непрозрачные части наружных ограждений в зданиях, возведенных по старым нормам. Более того, место расположения энергосберегающих окон по толщине наружного ограждения влияет на площадь оконных откосов, а значит и на величину тепловых потерь. Следовательно, до проведения энергосберегающих мероприятий необходимо иметь количественную оценку совместного влияния этих двух факторов на величину тепловых потерь через рассматриваемое наружное ограждение здания. Поэтому наши исследования разбиты на два этапа: 1-й этап посвящен количественной оценке снижения освещенности в помещении при замене одних окон на другие. 2-й этап связан с определением минимального энергопотребления, необходимого для обеспечения теплового и светового комфорта в помещении.

В результате выполнения первого этапа установлено:

1. Добиться сохранения площади рабочей поверхности в помещении, соответствующей действующим нормам по естественной освещенности, можно путём увеличения площади энергосберегающего окна (светового проёма). Однако это приводит к увеличению тепловых потерь через такое окно на величину пропорциональную размеру дополнительно приращенной площади светового проёма.
2. В случае замены окон на энергосберегающие необходимо теплоизолировать оконные откосы для снижения тепловых потерь через части ограждения, примыкающих к световому проёму.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0017 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.) в сфере научной деятельности на 2023–2025 гг.

Н.А. Солодка, А.И. Чекунова, студенты;
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц. (СГТУ имени Ю.А. Гагарина, Саратов)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБРОСНОЙ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОБИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

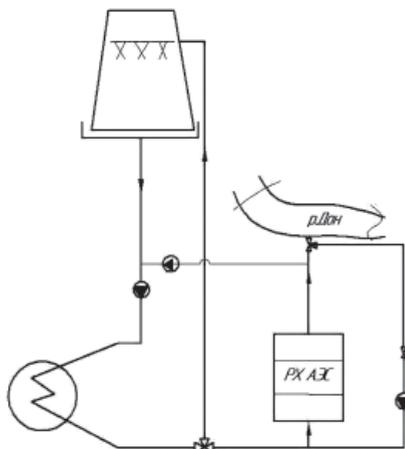


Рис. 1. Схема рыбного хозяйства АЭС

используемых в качестве тепловой энергии сбросную низкопотенциальную теплоту конденсаторов. Крупным источником низкопотенциальной теплоты ВЭР являются атомные электрические станции в виде охлаждающей воды конденсаторов паровых турбин.

Принцип рыбного хозяйства АЭС основан на использовании воды из конденсатора для поддержания условий содержания рыб. Следует отметить, что в данном случае полностью исключаются топливные затраты в себестоимость продукции рыбного хозяйства АЭС [2].

Актуальность проблемы использования сбросной низкопотенциальной теплоты определяется необходимостью утилизации вторичных энергетических ресурсов на АЭС для энергобиологического комплекса. Современные электростанции преобразуют в полезную электрическую энергию 30–40% теплоты топлива, а остальные 60–70% рассеиваются в окружающей среде. Поэтому использование в сбросной воде имеющихся тепловых ресурсов позволит обеспечить население продукцией рыбного хозяйства [1].

Одним из наиболее эффективным способом утилизации низкопотенциальной и сбросной воды является применение рыбных хозяйств, исполь-

Литература

1. Хрусталеv В.А. Природоохранные технологии ТЭС и АЭС: конспект лекций / В.А. Хрусталеv. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. — 112 с.
2. Герасимов Ю.Л. Основы рыбного хозяйства: С. «Самарский Университет» 2009 г.

М.В. Полозова, студ.; рук. Н.В. Хомченко, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Работа посвящена анализу тепловых насосов для возможности использования низкопотенциальных и возобновляемых источников энергии. Тепловые насосы используют тепло низкопотенциальных источников тепла, таких как сточные воды, использованный сушильный агент, наружный воздух, тепло грунта и другие. Они экологичны, обеспечивают высокий КПД, надежны, долговечны, а отдельные типы могут обеспечить отпуск теплоносителя с постоянной высокой температурой, не зависимо от температуры окружающей среды.

Имея доступ к электричеству, можно применять тепловые насосы, что снизит нагрузку на сеть или затраты на газ, а также уменьшит выбросы парниковых газов в окружающую среду, так как обогрев дома ТН считается экологически чистым процессом. Рациональность использования теплового насоса вместо газового или электрического котла рассматривалась на примере частного двухэтажного дома площадью 250 м² с расположением в трех городах: Сочи, Уфе и Барнауле. Система отопления водяная с радиаторами.

Таблица 1. Сравнение затрат в отопительный период

		Сочи	Уфа	Барнаул
$T_{нр}$, расчетная наружная t	°C	-2	-33	-39
$T_{ср}$, за отопительный период	°C	6,6	-6	-7
Время отопительного периода	п, дней	149	214	234
Теплопотери при $T_{нр}$	кВт	32,22	48,13	51,21
Общие теплопотери за год	кВт	1844,5	4935	5313,8
Общие затраты на отопление за отопительный период				
Геотермальный ТН	кг. у. т.	167,2	369,6	398
Воздушный ТН	кг. у. т.	142,8	--	--
Газовый котел	кг. у. т.	489	907,4	977
Электрический котел	кг. у. т.	641,7	1717	1849

Тепловому насосу требуется меньше условного топлива на обогрев дома, и он выгоднее в использовании, чем традиционные источники, однако, стоимость самого насоса в России не учитывалась.

Литература

1. **А.А. Александров** “Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок” М.: Издательство МЭИ, 2004 г.

Т.А. Кондракова, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ОСТЫВАНИЯ ЖИЛОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ЗДАНИЯ ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Одним из важных практических вопросов является определение времени остывания многоквартирного здания при аварийном отключении системы теплоснабжения. Актуальность данной проблемы подтверждается большим количеством аварий на тепловых сетях и их тяжелыми последствиями. В ходе работы была разработана расчетная математическая модель, создана имитационная программа в среде Simulink. При создании расчетной модели учитывались такие факторы, как объемные тепловыделения, наличие внутренних источников тепла различной мощности, остывание теплоносителя в системе отопления здания. В ходе работы рассмотрен жилой дом типовой серии 1-464, расположенный в г. Кирове. Определены характеристики рассматриваемого объекта, рассчитаны тепловые потери зданий, определена масса жилого дома, рассчитан коэффициент аккумуляции. Выведена система дифференциальных уравнений:

$$M_{зд} \cdot Cp_{зд} \frac{dt_B}{d\tau} = -k \cdot F_{зд} \cdot (t_1 - t_H), \quad (1)$$

$$M_{зд} \cdot Cp_{зд} \frac{dt_B}{d\tau} = -k \cdot F_{зд} \cdot (t_B - t_H) + \alpha_{co} \cdot F_{co} \cdot (t_{co} - t_B), \quad (2)$$

где $m_{co} \cdot Cp_{co} \cdot \frac{dt_{co}}{d\tau} = -\alpha_{co} \cdot F_{co} \cdot (t_{co} - t_B) -$

тепловой поток от радиаторов к внутреннему воздуху. Поскольку $t_H = const$, то $dt = d(t_B - t_H) = d(\Delta t)$, следовательно:

$$\frac{d(\Delta t)}{d\tau} = -\frac{k \cdot F_{зд}}{M_{зд} \cdot Cp_{зд}} \cdot \Delta t = -\beta \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где β — коэффициент аккумуляции здания, рассчитанный по [1]. Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид: $\Delta t(\tau) = \Delta t_B \cdot \exp(-\beta \cdot \tau)$.

В работе выполнено решение данной системы уравнений. Проведены расчеты, разработана модель в среде Simulink. Получены графики, показывающие влияние мощности внутреннего тепловыделения, температуры наружного воздуха на время остывания здания.

Время остывания здания в данной модели при температуре наружного воздуха, равной -25°C при отсутствии внутренних источников тепла составило 21,11 ч.

Показано, что остывание воды в циркуляционном контуре увеличивает время остывания всего здания на 1,5 ч, т.е. на 6,98%.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети — М.: МЭИ, 2001. — 472 с.

И.В. Царьков, асп., Р.И. Зайцев, студ.;
рук. Е.В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДДЕРЖАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

В условиях глобального роста цен на энергоносители, ужесточения экологических норм и перехода к устойчивым технологиям тепловые насосы занимают центральное место среди энергосберегающих систем. Их применение позволяет не только сократить эксплуатационные затраты, но и снизить углеродный след зданий.

Тепловой насос выполняет функцию перемещения тепловой энергии из области с низкой температурой в область с более высокой температурой, что позволяет охлаждать или нагревать воздух в помещении. Анализ различных схем использования теплового насоса для поддержания параметров микроклимата привел к выбору интеграции теплового насоса в приточно-вытяжную установку [1].

В рамках исследования выполнен анализ эффективности тепловых насосов в различных регионах с учетом температуры наружного воздуха, сезонных изменений и характеристик энергосистем, что позволяет создать универсальные подходы к использованию тепловых насосов. Так же проведение экспериментов зависимости работы теплового насоса от нагрузки, режимов эксплуатации и характеристик системы позволит сравнить применение его различных схем работы с традиционными методами поддержания микроклимата.

На рисунке 1 представлен срок окупаемости теплового насоса в приточно-вытяжной установке системы кондиционирования воздуха (СКВ), который составляет менее 3 лет. Проект показал возможность эффективного использования тепловых насосов в СКВ для повышения энергоэффективности здания и снижения эксплуатационных затрат.

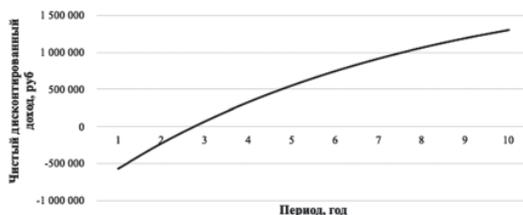


Рис. 1. Срок окупаемости теплового насоса

Литература

1. **Гашо Е.Г., Козлов С.А.** Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. М.: Издательство «Перо», 2016.

*К.А. Юричковский, студ.;
рук. Е.В. Криницкий, к.т.н., доцент каф. ТМПУ (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ В ПО SIMINTECH

Создание математических моделей теплового оборудования становится все более распространенным для анализа и оптимизации его функционирования как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. Математическое моделирование способствует улучшению точности управления оборудованием благодаря созданию сложных алгоритмов, которые принимают во внимание ряд отслеживаемых параметров системы [1].

Сложность достижения точного регулирования тепловой мощности в системах отопления часто обусловлена инерционными свойствами самой системы [2]. Кроме того, в случае использования бюджетного оборудования это усложняется дискретным управлением тепловой мощностью источника, которое ограничивается лишь двумя состояниями: включением и выключением.

Это приводит к необходимости оценки показателя инерционности сооружений и разработки более совершенных методов управления, которые способны учитывать ряд параметров, используемых в процессе регулирования. В этом контексте разработка математических моделей в ПО SimInTech позволяет проводить моделирование различных сценариев работы оборудования, оценивать эффективность различных систем управления и тепловой режим сооружений.

Использование математических моделей теплового оборудования способствует не только выявлению оптимальных режимов работы, но и снижению потерь энергии без необходимости сильной модернизации исходной системы, что становится особенно актуальным в условиях растущего внимания к вопросам энергосбережения и энергоэффективности [2].

Литература

1. **Б.А. Карташов.** Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов, Е.А. Шабаев, О.С. Козлов, А.М. Щекатуров. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ДМК пресс. Электронные книги», 2017. — 424 с. — ISBN 978-5-9706-0482-3. — EDN ZDAUXB.
2. **Сканави А.Н.** Отопление: учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. — Москва: АСВ, 2002. — 576 с.: ил. — ISBN 5930931615.

*А.И. Алимушкина, студ.;
рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ОТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В работе рассматривается однорядный калорифер [1], используемый для нагрева воздуха в помещении без прокладки воздушных каналов. Расчеты проводятся с разными теплоносителями, такими как фреон R141b, водный раствор этиленгликоля и вода. Такие теплообменники необходимо использовать для снижения температуры теплоносителя и повышения эксергетической эффективности систем отопления. Данный анализ сделан для определения наиболее подходящего теплоносителя для системы отопления с тепловым насосом и низкопотенциальным источником энергии — грунтовым аккумулятором теплоты, что применяется в области энергосбережения.

Вода является самым распространенным и недорогим теплоносителем. Главные ее недостатки — высокая температура кристаллизации и необходимость в водоподготовке.

Более высокая степень эффективности растворов гликоля обуславливается теплофизическими свойствами [2]. Несовершенством их применения является третий класс опасности, токсические и наркотические воздействия, что требует соблюдения определенных ограничений.

Фреон R141b невзрывоопасный, малотоксичный и стабильный при соответствующих условиях, имеет минимальный потенциал озонной опасности. Но при взаимодействии с пламенем он способен выделять вредные токсины — фосген, фтористый и хлористый водороды.

Таблица 1. Основные результаты работы

		Фреон R141b	Вода	Этиленгликоль
Расход	G.1, кг/с	0.034	0.167	0.177
Скорость	ω .1, м/с	0.20699	1.27754	1.29886
Коефф. теплопередачи	k, Вт/м ² К	240.081	236.619	242.037
Количество труб	z.1, шт	30	25	25
Эффективность	c	0.857	0.689	0.689

Полученная расчетная модель требует уточнений и доработки, однако ее можно использовать для предварительного анализа.

Литература

1. **А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов** Промышленные теплообменники: процессы и установки: Учебник для вузов. Под ред. А.М. Бакластова. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 328 с.
2. **Варгафтик** — Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей.

Д.В. Рязанцева, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВРЕМЯ ОСТЫВАНИЯ ЗДАНИЯ

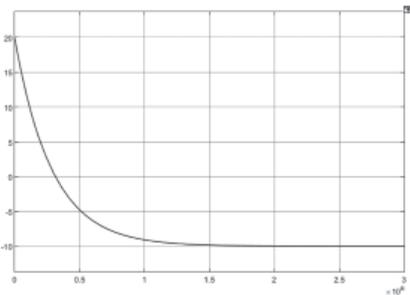
Цель работы: провести исследование влияния изменения конвективного и лучистого тепловых потоков на остывание здания при определённых условиях и заданных параметрах.

В качестве объекта исследования был выбран обычный кирпичный дом размерами 5×5×3. Для первичных расчётов учитывались только стены, окна и потолок. Было принято, что стенка нагревается и охлаждается во времени одинаково, поскольку рассматривается простая модель. Наружная температура воздуха на улице равна $t_n = const = -10^\circ\text{C}$; внутренняя температура воздуха равна $t_b = const = 20^\circ\text{C}$. Запишем дифференциальное уравнение для решения данной задачи (1):

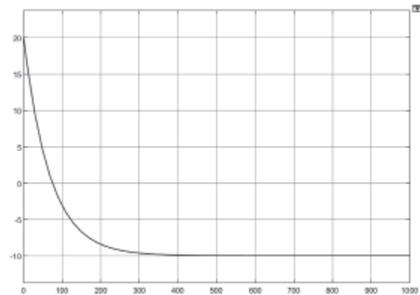
$$\frac{dt_b}{dt} = -\frac{kF}{mc_p}(t_b - t_n) + \varepsilon\sigma\left[\left(\frac{T_w}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{неба}}}{100}\right)^4\right]F \quad (1)$$

где: T_w — температура поверхности стенки, равная $-6,83^\circ\text{C}$, К; $T_{\text{неба}}$ — температура неба, равная -20°C , К.

С помощью программы имитационного моделирования Simulink были составлены схемы с использованием уравнения (1) без учёта излучения и с учётом излучения и построены графики зависимостей изменения температуры внутреннего воздуха от времени остывания здания (рис 1а, 1б).



(а)



(б)

Рис. 1. (а), (б) — Зависимость изменения температуры внутреннего воздуха от времени остывания здания без учёта излучения (а) и с учётом излучения (б)

Вывод: на графиках видно, что внутренняя температура воздуха при заданных параметрах и равная 20°C остывает до температуры наружного воздуха -10°C за время в 1 500 000 секунд или за 417 часов или за 17 дней без учёта излучения. С учётом излучения, видно, что внутренняя температура воздуха при заданных параметрах и равная 20°C остывает до температуры наружного воздуха -10°C за время в 400 секунд или за 0,12 часа, что рано примерно 7 минутам.

*И.И. Светушков, асп.; Д.А. Долинин, доц.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ им. В.И. Ленина, г. Иваново)*

АНАЛИЗ МИКРОКЛИМАТА ГЛАВНОГО КОРПУСА ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2 В ПЕРИОД ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

В современном мире вопрос об энергосбережении становится всё более актуальным. Одним из направлений энергосбережения является оптимизация микроклимата главного корпуса тепловой электрической станции. Для разработки энергосберегающих мероприятий была проведена оценка фактических показателей основных (Т, °С и W,%) и вспомогательных (tVOC, мг/м³ и PM_{2.5}, мг/м³) показателей микроклимата главного корпуса Ивановской ТЭЦ-2, а также их отклонений от заданных требований [1, 2]. Ранее был проведён анализ микроклимата за тёплый и холодный периоды [3]. Согласно [2], тёплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10°С. Если среднесуточная температура ниже, то период считается холодным. Для разработки эффективных энергосберегающих мероприятий, дополнительно был проведён анализ параметров микроклимата за июнь-июль 2024 года, когда среднесуточная температура наружного воздуха составляла 24,6°С. Максимальное превышение температуры от установленной нормы (19÷21°С) зафиксировано в пределах турбоагрегата № 2 и составило 20,6°С. За тот же период в 2023 году максимальное превышение составило 30,2°С при среднесуточной температуре наружного воздуха 16,2°С. Концентрация летучих органических соединений tVOC в июне-июле 2024 года превышала нормативные значения только вблизи турбогенератора № 2. За аналогичный период 2023 года максимальное превышение было около турбоагрегата № 3.

Вывод. Результаты анализа микроклимата главного корпуса показывают, что микроклимат определяется преимущественно составом работающего оборудования, и в меньшей степени температурой наружного воздуха.

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 Межгосударственный стандарт. Система безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Москва. — 1988. — 3 с.
3. Бухмиров В.В., Бушуев Е.Н., Светушков И.И., Родионова М.В., Долинин Д.А. Экспериментальное микроклимата котлотурбинного цеха Ивановской ТЭЦ-2 // Промышленная теплоэнергетика. — № 11. — с. 10.

Секция 39

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

Е.А. Парнова, студ.; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н. профессор (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕВОДУ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ЦТП НА ИТП

Вопрос передачи тепловой энергии стоит в стране довольно остро, поскольку средняя продолжительность отопительного периода составляет 250 дней, при этом нагрузка горячего водоснабжения обеспечивается круглогодично.

В прошлом приоритет отдавали ЦТП, однако существенными преимуществами обладают тепловые узлы, обслуживающие одно здание. При использовании ИТП возможно учесть особенности конкретной постройки.

Помимо вопросов комфорта, важно также уделять внимание вопросам энергетической эффективности. ЦТП предполагают наличие магистральных и квартальных тепловых сетей. ИТП, в свою очередь, подключается к магистрали. ИТП снижают металлоемкость, однако протяженность трубопроводов с графиком выше, чем на квартальных сетях, растет. Кроме того, переход на ИТП увеличивает стоимость ОПФ, за которыми растет и амортизация в структуре затрат [1]. При использовании ЦТП требуется дополнительная гидравлическая наладка.

На примере города среднего размера была проведена оценка эффективности такой замены, были рассчитаны экономический и энергетический эффект. В работе также были рассмотрены аспекты, связанные с реализацией подобных мероприятий, с точки зрения теплоснабжающих организаций.

Полученные результаты в виде сформулированных положений и критериев в перспективе могут послужить базой для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения.

Литература

1. **Клементьев, Е.И.** Оценка эффективности реконструкции системы теплоснабжения при замене ЦТП на ИТП / Е. И. Клементьев, М. С. Клементьева // СИНТЕЗ науки и образования КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОСТИ: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 10 июня 2023 года. — УФА: ООО «Аэтерна», 2023. — С. 20–24. — EDN PIXSWZ.
2. **Горячев, С.В.** Индивидуальные тепловые пункты: их преимущества перед ЦТП / С.В. Горячев, Т.Р. Садуба // Аллея науки. — 2021. — Т. 1, № 5(56). — С. 216–219. — EDN EMKTVI.

Д.В. Сёмин, асп.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

В условиях устойчивого роста стоимости энергоресурсов и ужесточения экологических регламентов на территории Российской Федерации возникает острая необходимость разработки эффективных технологий утилизации нефтяных отходов, ориентированных на производство электрической и тепловой энергии с учетом минимизации экологического воздействия на окружающую среду. Реализация таких технологий не только способствует снижению зависимости от первичных энергетических ресурсов, но и позволяет существенно повысить экономическую эффективность переработки посредством полезного использования побочных продуктов.

Одним из основополагающих параметров, определяющих эффективность нефтеперерабатывающего завода, является показатель глубины переработки нефти, который характеризует удельный выход легких углеводородных продуктов (бензин, дизель, керосин) на единицу исходного сырья. Увеличение глубины переработки, как правило, приводит к усложнению и расширению технологических процессов. Это, в свою очередь, сопровождается повышением потребности в энергетических ресурсах, таких как природный газ, электроэнергия и водяной пар различных параметров. При этом наибольший потенциал энергосбережения зачастую имеется именно на стадиях первичной и вторичной переработки нефти [1].

В структуре энергопотребления систем первичной переработки нефти, укрупненно 85% приходится на различные виды топлив, около 10% на тепловую энергию и около 5% на электроэнергию. Как правило, технологические возможности по сокращению потребляемых ресурсов на НПЗ составляют 9–10%. По различным оценкам при пересчете в денежный эквивалент величина экономии за счет утилизации газов нефтепереработки оказывается существенной, достигая значений до 1130 млн. рублей в год [2].

Литература

1. **Миркин, А.З.** Снижение энергопотребления на НПЗ / А.З. Миркин, Г.С. Яицких, Г.С. Сюняева, В.Г. Яицких // Oil&Gas Journal Russia. — 2014. — № 5 (83), С. 40–43.
2. **Ларин, А.П.** Анализ эффективности использования технологического газа нефтепереработки на ТЭЦ промышленного предприятия / А.П. Ларин, С.К. Зиганшина // Экологический сборник 7: Труды молодых ученых, Тольятти, 18–21 апреля 2019 года / Под редакцией С.А. Сенатора, О.В. Мухортовой, С.В. Саксонова. — Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна РАН, «Анна», 2019. — С. 290–294.

Е.А. Парнова, студ.; рук. Е.Г.Гашо, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СРЕДНЕГО РАЗМЕРА

Схемы теплоснабжения большинства городов имеют схожие проблемы: износ тепловых сетей, отсутствие должного качества регулирования, дефицит или резерв тепловой мощности на источниках.

На примере городского округа Балашиха, имеющего все вышеупомянутые сложности, был разработан комплекс мероприятий, позволяющих повысить эффективность теплоснабжения потребителей.

Особенностью г.о. Балашиха является его устройство — существуют две крупные части (Балашиха и Железнодорожный), которые рассматриваются как две независимых системы теплоснабжения. В работе предлагается их исследование как единого целого.

С учетом наличия в некоторых случаях существенной разницы между договорными и фактическими нагрузками потребителей, тепловые балансы городов требуют пересмотра. Предложена методика пересчета значений нагрузок при отсутствии коммерческих узлов учета тепловой энергии.

В работе также была рассмотрена проблема надежности систем теплоснабжения, определена целесообразность использования существующих и перспективных путей повышения показателей.

В рамках исследования был оценены экономический и энергетический эффекты от интеграции мероприятий, альтернативных мастер-плану документа. Кроме того, было осуществлено обобщение получившихся результатов для возможности аналогичной оценки подобных мероприятий для муниципальных образований, обладающих схожими с г.о. Балашиха чертами.

Литература

1. **Лебедев, В.М.** Проблемы и пути развития теплоэнергетики региона / В.М. Лебедев // Промышленная энергетика. — 2008. — № 4. — С. 2–6. — EDN ISDPRX.
2. **Журина, В.И.** Оценка схем теплоснабжения с учетом рыночных отношений / В.И. Журина, В.Ф. Галушко // Теплоэнергетика. — 1992. — № 11. — С. 25–28. — EDN LAIKKR.
3. **Малая, Э.М.** Комплексная реконструкция с повышением параметров надежности систем теплоснабжения / Э.М. Малая, Т.Н. Сауткина, А.А. Филатова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газозенергоснабжения. — 2020. — № 1. — С. 117–121. — EDN SCQQFH.

М.Ш. Мутаев, асп.; рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Тепловые потери при транспортировке тепловой энергии в России превышают нормативы в 1,2–2 раза. С 2015 года они выросли на 23,4 млн. Ккал, достигнув 13% от общего количества транспортируемой тепловой энергии [1], а на Крайнем Севере значение потерь доходит до 17% [2]. Темпы снижения потерь в тепловых сетях отстают от целевых показателей (9,4% к 2025 году). Несмотря на использование различных материалов, на сегодняшний день отсутствует универсальная и эффективная теплоизоляция с низкой теплопроводностью для экстремальных климатических условий. Применяемые маты и скорлупы из волокнистых материалов со временем теряют до 40% своих первоначальных свойств из-за слеживания. Перспективные обмазочные теплоизоляционные материалы содержат микросферы, обеспечивающие низкую теплопроводность, но их использование ограничено сезонными условиями и хрупкостью при превышении наполнения полимерной матрицы.

Эффективным решением могут быть маты с микросферами диаметром 0,075 мм, например, на основе фольгированной керамической ткани (1, рис. 1), которая обладает термостойкостью, гибкостью и долговечностью. Использование фольгированного слоя позволит снизить тепловые потери в условиях экстремально низких температур наружного воздуха, а также повысить износостойкость и долговечность теплоизоляционного материала. Наличие отдельных полостей («карманов») обусловлено необходимостью равномерного распределения микросфер по объему теплоизоляционного мата (2, рис. 1). Среднее значение коэффициента теплопроводности такого материала составляет до 0,038 Вт/м·К.

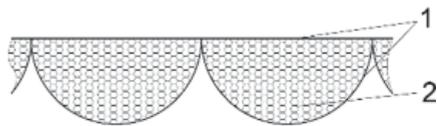


Рис. 1. Фрагмент теплоизоляционных матов

Литература

1. **Отчёт** о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году // ФГБУ «РЭА» Минэнерго России URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/166/Doklad_po_teplyu_za_2021_god.pdf (дата обращения: 22.11.24).
2. **Елшин А.И., Попов А.С., Елшин П.А., Дмитриева М.А.** Эффективность применения индуктивно-кондуктивного нагрева для жизнеобеспечения в условиях Крайнего Севера // Актуальные проблемы электромеханики и электротехнологий АПЭЭТ-2017: сборник научных трудов. — Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2017. — С. 33–36.

А.Е. Шаповалов, асп.; рук. С.В. Григорьев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ НИЗКОКИПЯЩИХ РАБОЧИХ ТЕЛ

Современные требования к энергоэффективности оборудования и снижению материалоемкости обуславливают необходимость интенсификации процессов теплообмена. Создание структурированного микрорельефа на теплообменных поверхностях способствует значительному увеличению площади теплообмена и улучшению условий для образования пузырьков пара при кипении. Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям [1, 2], такой подход позволяет повысить коэффициент теплопередачи, уменьшить габариты и массу теплообменных аппаратов, что особенно актуально как для промышленного оборудования, так и для бытовых систем. Использование микрорельефа в сочетании с различными покрытиями позволяет обеспечить гидрофобность или гидрофильность теплообменных поверхностей, интенсифицирует процесс конденсации и улучшает распределение жидкости по поверхности. Новейшие разработки в области создания бифильных поверхностей, сочетающих гидрофобные и гидрофильные свойства, позволяют оптимизировать процессы кипения и конденсации. Это позволяет значительно повысить эффективность теплообменных процессов в испарителях и конденсаторах установок на низкокипящих рабочих телах. Например, снижение температурного перепада на стенках испарителя и конденсатора на 5°C может увеличить эксергетический КПД парокомпрессионных холодильных установок в среднем на 8,5%. Для широко применяемых рабочих тел, таких как R32, RC318 и R245ca, прирост КПД составляет до 6,5%.

Применение структурированного микрорельефа в сочетании с различными покрытиями на теплообменных поверхностях имеет ключевое значение для повышения эффективности тепловых насосов, холодильных машин и других систем. Это позволяет не только улучшить их производительность, но и уменьшить размеры и материалоемкость. Внедрение подобных решений в промышленном масштабе обеспечит значительные экономические и экологические преимущества, включая снижение энергозатрат и увеличение срока службы оборудования. Это делает разработку и применение технологий, основанных на изменении свойств поверхности за счет создания структурированного микрорельефа, важным шагом в развитии энергоэффективных установок на основе низкокипящих рабочих тел.

Литература

1. **Вэнд С.М., Эмери Б.Д., Богарт Д.Э.** Пластинчатый теплообменник с поверхностными рельефами и способ обеспечения поверхности повышенной теплопередачи / Федеральный институт промышленной собственности. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения: 21.11.2024).
2. **Косолапов В.Б., Рукавишников Ю.В.** Исследование влияния микрогеометрии металлических поверхностей на процесс адсорбции ПАВ // Вестник ХНАДУ. 2015. № 69.

А.С. Левшина, А.М. Курбатов, студ.;
рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Во многих странах предотвращение и сокращение отходов стали главными приоритетами. Это связано с ростом уровня жизни и пропорциональным увеличением проблем охраны окружающей среды. Из-за бытовой, сельскохозяйственной и промышленной деятельности человека постоянно происходят изменения окружающей среды, большинство из которых не несут благоприятный характер.

Утилизация пищевых продуктов питания является важнейшим аспектом в сфере экологии. Ежегодно большое количество продуктов, утративших товарный вид и форму до истечения срока годности, становятся отходами и попадают на мусорные полигоны.

Большинство предприятий, которые занимаются утилизацией пищевых отходов, изолируют отходы на объектах захоронения или размещают их на полигонах. Ни один из этих способов не является компетентным решением проблемы, так как пищевые отходы подвергаются воздействию микроорганизмов, влаги и кислорода, гниению и другим химико-биологическим процессам, в результате которых значительное количество твёрдых металлов и вредных газов попадает в окружающую среду, нанося ей и здоровью человека серьёзный урон [2].

Утилизация биомассы с получением продуктов переработки, таких как компост, биотопливо, строительные материалы, тепловая энергия, является экономически целесообразной, в настоящее время в мире расходуется большое количество вторичного сырья на различные технологические нужды [3].

Был рассчитан эффективный режим работы закрытой биогазовой установки и получены максимальная выработка в сутки и низшая теплотворная способность биологического газа [1].

На основе расчётов режимов работы котельного агрегата ПТВМ-60 на природном и биологическом газах получены требуемые значения расходов указанных топлив для поддержания заданных параметров установки.

Литература

1. **Барбара Эдер, Хайнц Шульц.** Биогазовые установки. 1996 г.
2. **Гонопольский А.М.** Пульповая переработка пищевых отходов. М.: Издательское Перо, 2016.
3. **Гельфанд Е.Д.** Технология биотоплив. Учебное пособие. 2005.

Д.И. Горчаков, студ.; А.Е. Шубин, студ.; М.А. Аксашева, студ.;
рук. А.П. Мунин, ст. преп. (СГТУ имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

ВНЕДРЕНИЕ ПАРСПУТНИКОВ КОНСТРУКЦИИ ТРУБА В ТРУБЕ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ

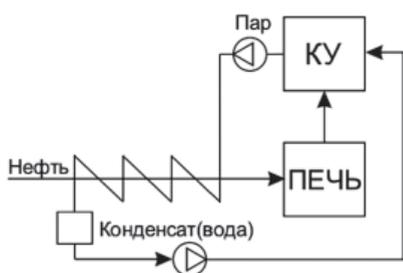


Рис. 1. Принципиальная схема предлагаемой технологии КУ — котел-утилизатор; ПН (сверху вниз) — паровой и питательный насосы; КК — конденсаторный коллектор

эффективность теплообмена.

С целью повышения эффективности теплообмена предлагается модифицировать конструкцию пароспутников. В новой конструкции отходящие газы от печи направляются в котёл-утилизатор, где происходит нагрев воды до состояния пара с повышенными параметрами [1]. Полученный пар подаётся с помощью парового насоса в систему пароспутников с конструкцией «труба в трубе», здесь пар конденсируется и отводится в конденсаторный коллектор. После этого конденсат, с помощью конденсатного насоса, направляется в отстойный бак для дальнейшего повторного использования в системе пароспутников (см. рисунок1).

Температура существенно влияет на вязкость транспортируемых жидкостей, поэтому при транспортировке нефти по трубопроводу на НПЗ необходимо поддерживать стабильную температуру, для этого часто используются пароспутники [2].

Классические пароспутники представляют собой трубу с конденсатоотводами вдоль нефтепровода. Однако их ограниченный контакт с трубопроводом ограничивает нагрев нефти до 150°C при параметрах пара 1 МПа и 200°C, что указывает на низкую

Литература

1. Катин В.Д., Булгаков С.В. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в трубчатых нефтезаводских печах с применением новых теплоутилизационных устройств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. — 2020. — № 10. — С. 43–45.
2. Кульманова Р.К. Теплоизоляция газо- и нефтепроводов // Технические науки: прошлое, настоящее, будущее: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 19 мая 2014 года — С. 28–30.

А.Г. Гусенко, асп.; М.М. Ахатов, студент; рук. А.В. Федюхин, к.т.н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА. РЕШЕНИЯ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ В ПОДЗЕМНЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций. Для реализации задач Энергетической стратегии России требуется реализовать технологии, позволяющие регулировать неравномерность электропотребления за счет маневренных электростанций. Одной из такой разработок является технология по производству электроэнергии на основе воздушно-аккумулирующих электростанций.

Одним из главных особенностей и отличий ВАЭС от стандартных газотурбинных электростанций является наличие воздушного аккумулятора, роль которого позволяет разделить процесс сжатия и расширения в ГТУ. Принцип создания воздушного аккумулятора основывается на принципах создания газовых подземных хранилищ. Рассматривая варианты запасаания воздуха в искусственных надземных хранилищах, приходится сильно ограничивать объем хранилища, что значительно приводит к снижению расхода воздуха через расширительную часть, что в свою очередь приведет к снижению вырабатываемой мощности. Это скажется на экономической рентабельности. Поэтому основной акцент сделан на исследование использования подземных естественных хранилищ.[1]

В работе рассмотрены все возможные варианты использования различных типов горных пород для создания в них аккумуляторов воздуха. Определены основные требования к пористым непроницаемым пластам для использования их в качестве аккумулятора. Выбрана приоритетная технология хранения воздуха. Даны предложения по минимизации потерь давления сжатого воздуха.

Литература

1. **Г.Г. Ольховский** Воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции (ВАГТЭ) / Г.Г. Ольховский; Казарян В.А; Столяревский А.Я. / Ижевск: Институт компьютерных исследований — 2011. 360 с.

*А.М. Курбатов, А.С. Левшина, студ.;
рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГАЗОВОЙ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБХМ И ГПУ

С каждым годом проблема устранения экологических загрязнений волнует всё больше людей. Одними из таких загрязнений являются бытовые отходы и отходы пищевой промышленности. На основании данных конца 2023 года [1] можно заметить, что значительная доля ТКО подвергается захоронению, что потенциально может привести к значительному негативному экологическому эффекту. Решением данной проблемы является наращивание производств, направленных на переработку ТКО, положительный эффект от которых можно заметить во множестве регионов.

Существует множество вариантов установок по переработке ТКО, однако самым распространённым вариантом переработки данных отходов является переработка в биогаз. Зачастую, использование биогаза в качестве источника энергии оказывается экономически нецелесообразным решением [2], тем не менее, в комбинации с другими источниками энергии данный ресурс может быть использован для обеспечения энергетической автономности как для промышленных потребителей, так и для потребителей гражданского назначения. Например, применение данного газа может быть использовано в качестве топлива для поршневых генераторов электроэнергии, объединённых в систему с ВИЭ, а теплота выхлопных газов может быть использована для подогрева блоков АБХМ.

В данной работе было проведено моделирование системы гибридного тепло- и электроснабжения, которая использует для электрогенерации газопоршневую установку. Был проведён сравнительный анализ биогаза в качестве топлива для данной установки с другими видами топлив и в качестве компонента смеси. На основе энергетических и экономических параметров были определены условия выгодного использования такого решения.

Литература

1. **ООО «ФинЭкспертиза Консалтинг» [Электронный ресурс]:** В России захоранивается 80% бытового мусора. — Режим доступа: https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2023/zakh-80-musora/?sphrase_id=37437. — Загл. с экрана.
2. **Мирошников Л.А.** Технологии энергетического использования твёрдых коммунальных отходов с возможностью получения экономической выгоды// МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ НАУКИ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 февраля 2024 г., г. Иркутск). — Уфа: Аэтерна, 2024. — С. 64–67.

Е.А. Шелгинский, асп.; Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЭР В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Повышение энергетической эффективности промышленных предприятий является одной из важных задач по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). В качестве одного из путей достижения экономии ТЭР может быть полезно использована (утилизирована) теплота вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), образующаяся в процессе производства. Теплота ВЭР может быть низкопотенциальной ($<150^{\circ}\text{C}$), среднепотенциальной ($150^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$) и высокопотенциальной ($>400^{\circ}\text{C}$).

В данной работе рассматривается разработанная принципиальная схема утилизации среднепотенциальной теплоты сжатого воздуха между компрессорами в агрегате УКЛ-7 производства азотной кислоты для выработки дополнительной электроэнергии в установке, работающей на основе органического цикла Ренкина (ОЦР).

Рассмотрены различные низкокипящие рабочие тела (НКРТ) для работы ОЦР. Определены термический и эффективный КПД цикла. Определено НКРТ, при котором ОЦР вырабатывает максимальную электрическую мощность.

Теплота конденсации НКРТ в конденсаторе ОЦР используется с целью испарения аммиака, идущего в производство, взамен теплоты продукционного пара.

Предлагаемое схемное решение позволяет получить дополнительную электроэнергию в количестве 1 421 460 кВт·ч в год, а также сэкономить продукционный пар в объеме 27 430 тонн в год.

Параметры ОЦР для трех рассматриваемых веществ показаны в таблице 1.

Таблица 1. Параметры ОЦР для трех различных НКРТ

НКРТ	Нп, кВт	Qi, кВт	P ₁ , бар	h _t , %	h _э , %
R245fa	179,5	1721,6	22,51	18,9	10,4
R600a	177,7	1728,8	29,29	19,4	10,3
R134a	152,3	1697,3	39,6	17,8	9

Где Нп — электрическая мощность ОЦР; Qi — тепловая мощность испарителя; P₁ — давление на входе в расширитель; h_t — термический КПД ОЦР; h_э — эффективный КПД ОЦР.

А.В. Нетычук, студ.; Б.Ю. Байда, асп.;
рук. В.В. Карнаух, д.т.н., доц. (ДОННУЭТ, Донецк)

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНОГО ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА, РАБОТАЮЩЕГО НА R744

Системы на основе диоксида углерода (R744) имеют большой потенциал в двух секторах — в мобильном кондиционировании воздуха и в тепловых насосах для одновременного охлаждения и обогрева.

Целью данного этапа работы была оценка диоксида углерода как рабочего тела при нетипичных начальных параметрах при работе среднетемпературного парокомпрессионного теплового насоса (ПТНУ).

Для обеспечения требуемой температуры воды для ГВС цикл на R744 должен перейти в транскритическую зону, выше критической точки ($t_{кр.} = 304$ К, $p_{кр.} = 7,36$ МПа). Основное отличие теоретического цикла от реального цикла приходится на этап расширения. Максимальный теоретический COP цикла — образца ПТНУ на R744 — это COP Лоренца. На практике термодинамические процессы содержат многочисленные потери, которые снижают фактическое значение COP .

Расчетные данные по теоретическому и действительному термодинамическим циклам на R744 приведены в таблице.

Таблица 1. Расчетные данные по теоретическому и действительному циклам ПТНУ на R 744 при $t_0 = 20^\circ\text{C}$ и $t_{кд} = 60^\circ\text{C}$

Цикл	$\overline{\Delta T}_{ВТИ}$, К	$\overline{\Delta T}_{НТИ}$, К	$COP_{\text{Лоренца}}$	$COP_{\text{тн}}$	$\eta_{\text{Лоренца}}$
Теоретический	324,0	285,33	8,38	4,5	0,54
Действительный	329,0	285,33	7,53	3,1	0,41

Полученные значения $COP_{\text{Лоренца}}$, $COP_{\text{тн}}$ и эксергетических КПД элементов хорошо согласуются с данными других исследователей.

Суммарные потери эксергии для действительного цикла максимальны в компрессоре (~25%) и в газоохладителе (27%). Основные причины потерь эксергии в КМ: внешняя конвекция, потери давления на трение в клапанах. В газоохладителе для обоих циклов потери 27% и 26%, соответственно, они могут быть связаны с увеличением перепада температур в ТОО, а также с увеличением потери давления на трение из-за быстрого увеличения скорости потока, что вызывает увеличение необратимости. Необратимость в испарителе и газоохладителе возникает из-за разницы температур между двумя теплоносителями, потери давления и неконтролируемого теплообмена с окружающей средой. Эксергетические потери указывают на элементы системы, требующие усовершенствования. В нашем случае это компрессор и газоохладитель.

*Л.А. Ковязин, А.М. Вересоцкая, студенты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА

Стремление человека использовать солнечную энергию известно еще с древних времен, но технологическая возможность ее применения в энергетических системах появилась относительно недавно. Широкий интерес к солнечному излучению как энергоносителю вызван тем, что невозобновляемые источники энергии (уголь, нефть, газ и др.) неэкологичны и конечны в своем количестве, в то время как возобновляемые источники энергии (энергия солнца, ветра, приливов и др.) имеют фактически неисчерпаемый ресурс и никак не вредят экологии.

Системы, использующие солнечное излучение для получения энергии (гелиосистемы) считаются одними из самых перспективных систем, которые не наносят вреда природе. Но одной из особенностей солнечного излучения является непостоянство прихода лучей к поверхности Земли, а следовательно, имеются сезонные и суточные колебания и зависимость от погодных условий.

Использование подземного солнечного аккумулятора позволит запасти энергию солнца в виде тепловой энергии тогда, когда в ней нет недостатка и использовать в моменты, когда этот недостаток появится. Но, прежде чем переходить непосредственно к постройке такого аккумулятора, необходимо смоделировать и рассчитать его работу в конкретных климатических условиях, учитывая возможные потери энергии при ее получении и эксплуатации, а также возможную экономическую выгоду от внедрения подобного проекта.

При выбранных геометрических размерах подземного бака и теплофизических параметрах выбранной изоляции была построена модель, описывающая нагрев и охлаждение воды в баке-аккумуляторе, на основе которой определено поле температур в теплоизоляции и грунте в течение года с учетом тепловых потерь, прихода тепла от солнечных коллекторов и расхода тепла на отопление дома.

Литература

1. Султангузин И.А., Говорин А.В., Калякин И.Д., Яцок Т.В., Яворовский Ю.В., Чайкин В.Ю., Бу Дакка Баидаа, Цэрэндорж Цэцгээ Достижение нулевого углеродного следа в единой системе «энергоэффективный дом — электромобиль» // Энергосбережение. 2024. № 5.
2. Иванов В.Л. Приемники и аккумуляторы теплового излучения Солнца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
3. Бабаев Б.Д. Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы // ТВТ. 2014. Т. 52. № 5.

*А.М. Вересоцкая, Л.А. Ковязин, студенты;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ ДОМЕ

Развитие возобновляемых источников энергии — это перспективное направление в энергетике, которое связано с появлением новых технологий. Один из развивающихся аспектов этого направления — водородные технологии в строительстве жилых домов. Данные технологии могут использоваться для водородных топливных элементов, обеспечивающих энергетические потребности зданий, водородных систем отопления и кондиционирования, а также развития инфраструктуры для хранения и распределения водорода. Эти технологии дают возможность существенно снизить выбросы парниковых газов в атмосферу и повысить энергоэффективность здания.

Рассмотрены стратегии развития водородных технологий и перспективы использования водорода разных стран мира. Помимо этого, был принят во внимание ряд преимуществ и недостатков в сравнении с другими видами топлива. Преимущества водорода заключаются в его экологичности, высокой энергоёмкости, практически неограниченных запасах и высокой применимости. Но существуют и недостатки: высокая стоимость производства и добычи водорода, сложности в хранении и транспортировке, взрывоопасность.

В данный момент уже существуют и успешно функционируют схемы использования зданий по применению водорода, которые реализованы на практике. Рассматриваемые дома производят водород методом электролиза воды.

На основе актуальных требований к энергоустановкам на водороде была разработана схема, благодаря которой можно достичь снижения потребления тепла и электроэнергии. Были рассчитаны ключевые параметры работы установки, на основе которых были вынесены рекомендации по внедрению установок в сектор частного жилого строительства.

Литература

1. **Белехова Н.А., Султангузин И.А., Яворовский Ю.В., Дакка Б.Бу, Бартнев А.И.** Система производства, хранения и использования водорода для сезонного аккумулирования энергии в энергоэффективном доме. В сборнике: Энергосбережение — теория и практика. Труды Одиннадцатой Всероссийской конференции с Международным участием. Москва, 2022 С. 63–69.

Д.В. Сулимин, студ.;
рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СЖИГАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

В настоящее время использование химикатов распространено во многих сферах производства, потребления и научной деятельности. И при неправильной утилизации отходов деятельности таких предприятий страдает экология и здоровье людей.

Химические отходы — это любые избыточные, неиспользованные или нежелательные химические вещества, которые наносят ущерб окружающей среде или здоровью человека.

Химическая и нефтехимическая промышленность — главные источники образования химических отходов. В процессе производства образуются кислоты, щелочи, яды и неорганические примеси. Их попадание в воздух, воду или почву ведет к загрязнению окружающей среды. Регулярное воздействие химических отходов на организм человека может вызвать хроническое отравление.

Термическое обезвреживание (сжигание) — один из методов утилизации, в процессах которого химические отходы подвергаются обработке при высоких температурах (800–1200°С) в специальных печах или газификаторах [1]. При этом происходит разложение органических компонентов и окисление токсичных веществ, что позволяет снизить опасность для окружающей среды. Токсичные вещества при этом удаляются из дымовых газов, проходящих через многоступенчатую систему очистки. Данный метод позволяет снизить объем отходов, поскольку в результате процесса образуются зола и шлак, количество которых существенно ниже.

Теплоту отходящих газов процесса сжигания можно использовать в качестве вторичного энергетического ресурса для производства пара в котлах-утилизаторах. Получаемый пар может быть использован в системах теплоснабжения населенных пунктов.

В работе составлены и рассчитаны материальный и тепловой балансы процесса сжигания химических отходов производства капролактама. Подобран тип печи для осуществления процесса сжигания — циклонная печь.

Литература

1. **Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П.** Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. — М.: Химия, 1990. — 304 с.

*Т.А. Луговых, студ.;
рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОНОМНОЕ ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО ПОСЕЛЕНИЯ

В настоящее время стремительными темпами развивается альтернативная энергетика. Многие территории России обладают значительными запасами разных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), имеют к тому же изолированную систему энергоснабжения. К ним относятся районы Сибири и Дальнего Востока, где в основном используются местные котельные и дизельные генераторные установки. Однако отсутствие хороших дорог, в ряде случаев возможность доставки топлива осуществима только зимой, является причиной высоких цен как на само топливо, так и на тарифы за электро- и теплоэнергию. Одним из решений данной проблемы является использование гибридных схем с применением ВИЭ.

В работе рассматривается возможность использования схемы энергоснабжения с применением энергии ветра на территории Якутии в поселении Усун-Кюель. На данной территории среднегодовая скорость ветра 2,4 м/с. На основе анализа литературных источников было принято решение использовать ветрогенераторы с вертикальной осью вращения. Наиболее подходящим ротором для данного случая является конструкция Третьякова за счет ее низких значений скорости ветра для запуска.

Также в схеме предусматривается использование теплоты дымовых газов от дизельной генераторной установки, благодаря применению теплового модуля. Он способствует обеспечению тепловой нагрузки жилого поселения и снижению теплового загрязнения окружающей среды за счет охлаждения дымовых газов и использовании теплоты охлаждения дизель-генератора.

Данная разработка способствует снижению затрат на привозное топливо и улучшению экологической обстановки в поселении.

Литература

1. Виды ветрогенераторов: плюсы и минусы, производители устройств и необычные конструкции [электронный ресурс] URL: <https://energo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html?ysclid=m4ekgyjhg622880472> (Дата обращения 06.11.2024).
2. Таблица скоростей ветра по регионам России [электронный ресурс] URL: <https://dealanenergo.ru/Statiy/tablitca-skorostey-vetra-po-regionam-rossii?ysclid=m4epvockk9835701605> (Дата обращения 03.11.2024).

П.И. Бернадинер, асп.;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

В Российской Федерации стандартными температурными графиками систем теплоснабжения являются 150/70, 140/70, 130/70, 120/70, 110/70, 105/70, 95/70°C. Во всех этих температурных графиках разность расчетных температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах составляет от 25 до 80°C. При использовании низкотемпературного графика предполагается использование пониженных температур теплоносителя как в подающем, так и в обратном трубопроводах. В данном исследовании рассмотрены различные схемные решения и их показатели, позволяющие увеличить разность температур теплоносителя в трубопроводах тепловой сети посредством уменьшения температуры обратного теплоносителя.

При снижении температуры обратного теплоносителя от 70°C до 50°C при температурном графике 95/70°C, рост расчетной тепловой мощности, передаваемой потребителю, при прочих равных условиях составит до 180%. При этом гидравлические режимы работы системы могут оставаться практически неизменными. В случае применения комбинированного качественно-количественного регулирования тепловых нагрузок, гидравлические режимы могут изменяться, но это одновременно позволяет снижать расход энергии на транспортировку теплоносителя в системе теплоснабжения. Расчеты проведены на примере системы теплоснабжения одного из предприятий.

К преимуществам данной системы можно отнести следующие факторы:

- увеличение количества передаваемого потребителю тепла при сохранении расхода теплоносителя;
- увеличение срока службы трубопроводов тепловой сети;
- снижение средней температуры поверхности отопительных приборов у потребителей, что уменьшает риск получения ожогов.

Помимо преимуществ данная система имеет ряд недостатков:

- увеличение стоимости оборудования конечных потребителей за счет увеличения площади поверхности радиаторов;
- необходимость применения дополнительных конденсационных установок (конденсеров-экономайзеров) в котельной.

Низкотемпературные системы являются более безопасными и могут быть более энергоэффективными, однако требуют дополнительных расходов на оборудование.

*А.А. Рябчикова, студ.;
рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ТЭС

Природный газ является одним из ключевых энергоресурсов, применяемых в качестве основного топлива для большинства (около 70%) тепловых электрических станций (ТЭС). Для поддержания работы в соответствии с требованиями нормативного регулирования [1] в качестве резервного топлива служит мазут. Хранение и использование данного вида топлива требует больших энергетических затрат, так как для его подогрева затрачивается пар, а для циркуляции необходимы достаточно мощные циркуляционные насосы, что приводит к потерям потенциальных тепловой и электрической энергий и к снижению общей эффективности станции [2].

Сжиженный природный газ обладает рядом преимуществ в использовании по сравнению с мазутом, так как является наиболее чистым с экологической точки зрения видом топлива. При использовании такого вида топлива возможно улучшение экологической обстановки. Это связано с более низкими выбросами кислотных оксидов и сажи [3].

Основная задача исследования — определить потенциал повышения эффективности использования топлива на ТЭС благодаря переходу на сжиженный природный газ в качестве резервного топлива, производимого на самой станции, вместо мазута. В работе рассмотрено схемное решение по формированию и дальнейшему использованию сжиженного природного газа, как резервного топлива на ТЭС, а также смоделировано в программном комплексе ASPEN PLUS. При проведении расчетов было выявлено, что для расчетного количества резервного топлива (90 000 т.у.т.) при применении данной схемы для состава газа, используемого в Московском регионе, необходимый запас резервного топлива возможно накопить за 3 месяца.

Литература

1. Об утверждении порядка создания и использования тепловыми электростанциями запасов топлива, в том числе в отопительный сезон: приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 27.11.2020 №1062 [зарегистрировано в Минюсте России 30.03.2021 N 62920].
2. **Назмеев Ю.Г.** Мазутные хозяйства ТЭС. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 612 с.: ил. ISBN 5-7046-0864-7.
3. **Мильман О.О., Перов В.Б., Федоров М.В., Ленев С.Н., Попов Е.А.** Перспективы использования сжиженного природного газа в качестве резервного и аварийного топлива на электростанциях группы «Газпром Энергохолдинг» // Теплоэнергетика. — 2021 — № 7 — С. 5–18.

Н.Л. Бударин, асп.;
рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц.;
В.Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современное доменное производство является одним из самых сложных и важнейших звеньев металлургического комбината полного цикла. Оно представляет собой систему технологических агрегатов и процессов, связанных между собой потоками энергоресурсов различной природы и качества.

Известно, что для правильной оценки практической пригодности различных видов энергии и степени совершенства технологических процессов в металлургии недостаточно материального или энергетического (теплового) баланса [1]. Но они могут служить основой для эксергетического баланса, который дает полную картину об эффективности теплоэнергетической системы.

Доменный процесс выплавки чугуна начинается с подвода химической энергии топлива (кокса, природного газа, угля). На выходе из производства получают физическую энергию чугуна и шлака, химическую и физическую энергию доменного газа, который в свою очередь является вторичным энергоресурсом, используемым как топливо в энергетических котлах, воздухоподогревателях и других установках, и как рабочее тело в газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ), вырабатывающих электроэнергию. Таким образом, в производстве увязываются совершенно разные виды энергии.

Особое внимание следует уделять доменному газу, который часто меняет свои энергетические характеристики. В зависимости от вида схемы он охлаждается в системах газоочистки, сжигается и нагревается в подогревателях, расширяется в турбине, используется для нагрева дутья и выработки пара. Его температура, давление, влагосодержание, теплота сгорания могут колебаться в широких пределах, при этом физическая и химическая энергии и эксергии также претерпевают изменения. От одного лишь типа газоочистки зависит, на сколько эффективно будут работать отдельные агрегаты и вся система в целом.

В данной работе был составлен тепловой и эксергетический баланс доменного производства с сухой и мокрой очисткой доменного газа, составлены диаграммы Грассмана, получены значения эксергетического КПД.

Литература

1. Шаргут, Ян. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела; Пер. с польск. Ю.И. Батурина и Д.Ф. Стржижовского; Под ред. д-ра техн. наук В.М. Бродянского. — Изд. перераб. и доп. — Москва: Энергия, 1968. — 279 с., 2 л. черт.: ил.

В.И. Еникеева, асп.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ АТОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С РАЗРАБОТКОЙ КРИТЕРИЕВ ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ

Высокий износ сетей, отсутствие централизованных источников теплоснабжения и низкая степень газификации некоторых регионов влечет за собой неэффективное теплоснабжение. В данном исследовании рассматривается атомное теплоснабжение в качестве альтернативы традиционному [1].

Актуальность исследования заключается в повышении энергоэффективности и надежности теплоснабжения, снижении зависимости от ископаемых и неэкологических (резервный мазут) видов топлива, а также снижении углеродного следа. Новизна исследования заключается в разработке новых подходов интеграции наземных и плавучих АЭС в схемы теплоснабжения городов, а также разработка критериев выбора объектов теплоснабжения в Российской Федерации [2].

В результате исследования проведен детальный анализ использования атомной энергетики для нужд теплоснабжения городов. Рассмотрены реализованные и планируемые проекты атомного теплоснабжения СССР и в мире, по которым были разработаны критерии оптимального выбора типовых потребителей [3].

Полученные результаты исследования могут быть использованы для оптимизации схем теплоснабжения городов. Это позволит повысить эффективность использования энергоресурсов и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Перспективы реализации атомного теплоснабжения в России. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://niti.ru/wp-content/uploads/2021/02/1_2020_perspektivy-realizaczii-atomnogo-teplosnabzheniya-v-rossii.pdf (Дата обращения: 11.09.2024).
2. Советская атомная энергетика: «THROUGH THE NEVER» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/648505/> (Дата обращения: 11.09.2024).
3. Об использовании атомной энергии: федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ; последняя редакция // Собрание законодательства РФ. — 1995.

Секция 40

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Electrochemical and hydrogen energy

Председатель секции: д. т. н., профессор Кулешов Николай Васильевич

Секретарь секции: Курочкин Семен Васильевич

*М.В. Синяков, асп.; рук. Ю.С. Пак, к. т. н., доц. (РХТУ, Москва);
Д.Д. Спасов, к. т. н. (НИУ «МЭИ»); Р.М. Меншарапов, асп.;
Н.А. Иванова, к. т. н. (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СЛОЕВ АНОДА ОБРАТИМОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

Обратимый топливный элемент (ОТЭ) с протонообменной мембраной (ПОМ) является универсальным устройством, позволяющее работать как в режиме генерации энергии, так и в режиме генерации топлива (электролизер воды). Существенным недостатком ОТЭ является низкая коррозионная стойкость коллекторов тока, ведущая к быстрому снижению ресурса работы устройства в режиме электролизера, что ставит задачу создания бифункционального анода с высоким ресурсом работы.

Данная работа направлена на исследование различных составов и композиций анода ОТЭ в двух режимах работы с применением наноструктурного покрытия на основе карбонитрида титана в качестве подслоя [1]. Были рассмотрены составы типа смешанная загрузка электрокатализатора, послойное нанесение, а также послойное с применением карбонитридного подслоя и изучено их влияние на эффективность работы ОТЭ.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном улучшении ресурсных характеристик устройства благодаря разделению Pt и Ir электрокатализатора дополнительным подслоем состава TiC_xN_y , улучшающим подвод-отвод реагентов и защищающий каталитические слои и коллекторы тока от взаимного разрушения.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. **Sinyakov M.V. et al.** Titanium-Based Nanostructured Coatings for Electrodes of Electrochemical Devices with Proton Exchange Membrane // Moscow University Physics Bulletin. 2023. V. 78. P. 185–191.

Н.С. Городничин, студ.;
рук. М.А. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ РЕАГЕНТОВ НА РАБОТУ ТВЁРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ) находят широкое применение в области транспорта и энергетики благодаря высокой эффективности и экологичности. Однако работа ТПТЭ существенно зависит от параметров рабочих реагентов, эти параметры влияют на терморегуляцию системы, процессы увлажнения мембраны и передачу энергии, что, в свою очередь, сказывается на общей эффективности и долговечности работы ТПТЭ. Настоящая работа направлена на исследование взаимодействия между теплофизическими свойствами реагентов и ключевыми параметрами работы ТПТЭ, что позволит разработать рекомендации по повышению производительности и ресурса системы [1].

В рамках работы был изготовлен мембранно-электродный блок, электроды (ГДС “Freudenberg C6”) площадью 320 см^2 , ионообменная мембрана Gore M775.15 площадью 320 см^2 , загрузка платинового катализатора на аноде — $0,2 \text{ мг/см}^2$, на катоде — $0,3 \text{ мг/см}^2$. Биполярные и монополярные пластины изготовлены из материала: сталь AISI316.

Применяются методы математического моделирования и эксперименты для анализа тепловых и электрофизических процессов в ТПТЭ при изменении параметров реагентов. Особое внимание уделяется влиянию температуры, влажности и давления на работу ТПТЭ. Исследования проводились с помощью тестовой станции NSFC-CTS500 (КНР).

Оптимизация условий работы, таких как давление и температура, имеет ключевое значение для повышения эффективности и надежности ТПТЭ. Повышение давления водорода и кислорода в твердополимерных топливных элементах повышает их эффективность и производительность. Поддержание давления рабочих газов (водорода и кислорода, стехиометрическое соотношение газов 1:2) в диапазоне 1,5–2 атм. способствует значительному увеличению плотности тока и выходного напряжения. Давление улучшает контакт газов с катализатором и снижает потери, связанные с транспортом реагентов через газодиффузионные слои.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01429, <https://rscf.ru/project/22-29-01429/>

Литература

1. **С.И. Нефедкин, М.А. Климова, А.В. Иваненко, В.И. Павлов, С.В. Панов, С.В. Шубенков, А.В. Рябухин.** Разработка водород-воздушных топливных элементов с открытым катодом для энергосистемы с высокими удельными характеристиками. Электрохимия, 2022, том 58, № 2, с. 1–13.

Д.Е. Гринёва, студ.;
рук. Н.В. Панченко, к.х.н. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва);
Р.М. Меншарапов, асп.; Н.А. Иванова, к.т.н.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва);
Д.Д. Спасов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТЫ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СОСТАВЕ SiO_2 -МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ПОМТЭ

Топливные элементы с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) постепенно интегрируются в современные энергетические системы передовых стран с целью снижения углеродного следа и перехода к энергетике с «нулевыми» выбросами в сравнении с тепловой энергетикой на основе ископаемого топлива. Однако коммерциализация ПОМТЭ требует их окупаемости и приводит к необходимости расширения условий эксплуатации устройств и увеличения сроков их службы.

Оптимизация применяемых электрокатализаторов с целью повышения их деградационной устойчивости и улучшения электрохимических характеристик обеспечивается при их модифицировании диоксидом кремния (SiO_2) за счет роста электрохимически активной поверхности (ЭАП) и долговечности [1]. При этом многокомпонентные электрокатализаторы требуют более длительных и ресурсоемких исследований для определения эффектов и процессов, возникающих за счет взаимного влияния носителя, модификатора и активного металла.

В настоящей работе проведен комплекс структурных исследований трехкомпонентных электрокатализаторов состава $\text{Pt}^{20}\text{SiO}_2^{3,7}\text{C}$ методами термогравиметрического анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, рентгеноабсорбционной спектроскопии и электрохимические исследования методами циклической вольтамперометрии. Показано, что рост долговечности в процессе тестирования обеспечивается за счет как экранирования заряда частицами кремнезема, покрывающими углеродный носитель по связи -C-O-Si-O-, при его перетекании с платины на углерод, так и снижения активности платины в реакции окисления углерода из-за окисленного состояния ее поверхности по связи -Pt-O-Si-O-.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. **Spasov, D.D. et al.** Nanostructured $\text{Pt}^{20}/\text{SiO}_2^x/\text{C}$ Electrocatalysts for Water-Balance Stabilization in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell // *Nanobiotechnology Reports*. 2022. V. 17(3). P. 320–327.

*С.В. Нагорный, студент;
рук. М.Б. Розенкевич, д.х.н, проф.
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва);
Р.М. Меншарапов, асп.; М.В. Синяков, асп.; Н.А. Иванова, к.т.н.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва);
Д.Д. Спасов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»);
Б.В. Иванов, научный сотрудник
(Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВЫХ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ В РЕЦИРКУЛЯЦИОННОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО НАСОСА

Электрохимический водородный насос (ЭВН) — устройство, позволяющее одновременно проводить высокоселективное извлечение водорода на аноде и компримирование на катоде электрохимической ячейки. На сегодняшний день ЭВН рассматривается в качестве перспективной инновационной технологии в различных областях промышленности, благодаря потенциальной экономической привлекательности относительно классических технологий очистки и компримирования. Так, например, ЭВН рассматривают в составе системы извлечения изотопов водорода в топливных циклах термоядерных реакторов, при производстве ненасыщенных углеводородов, а также для получения водорода, соответствующего стандарту ISO 14687:2019 [1].

В рамках исследования параметров извлечения водорода создан стенд «СИВКА», который позволяет проводить исследования в диапазоне давлений 0.01 МПа — 1.6 МПа, температур 20–80°C, а также в проточном, стационарном и рециркуляционном режиме работы ЭВН.

В работе продемонстрировано, что извлечение водорода в рециркуляционном режиме работы позволяет достичь стабильной работы ЭВН, вследствие удаления избытка влаги с поверхности анодного электрода, а также интенсифицировать процесс и увеличить степень извлечения водорода, благодаря постоянному удалению примесей с анодного электрода по сравнению со стационарным режимом работы.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. **Ivanov, B.V., et al.** Experimental study of the electrochemical hydrogen pump based on proton exchange membrane for the application in fusion fuel cycle // Process Safety and Environmental Protection. 2023. V. 180. P. 744–751.

*М.Н. Маркграф, Е.А. Ушак, Д.В. Пяткин, студенты;
рук. С.Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В САМОЛЁТАХ В КАЧЕСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО АГЕНТА И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Любой авиационный двигатель рассчитывается под определённый тип топлива, на котором он выдаёт требуемые параметры по мощности, приёместости, надёжности, ресурсу, и рекомендуемые аналоги топлива, на которых допускается, как правило, ограниченная эксплуатация с потерей ряда характеристик двигателя. В наше время водород стремятся использовать в очень большом количестве отраслей. Водородные технологии могут стать основой для разработки новых поколений самолётов, обладающих улучшенными удельными параметрами и эффективностью. К преимуществам водорода можно отнести более высокую теплоёмкость по сравнению с керосином и воздухом, что даёт возможность использовать его в роли охлаждающего агента. В качестве авиационного топлива водород имеет наибольшую теплоту сгорания на единицу массы, что даёт удельный расход топлива примерно в три раза меньший, чем у керосина. Также водород имеет более малое количество выбросов токсичных веществ, по сравнению с керосином и антидетонаторов содержащихся в нём. Использование водорода в авиации может открыть новые возможности для создания более эффективных и, в некоторой мере, более безопасных самолётов. Несмотря на то, что при применении водорода возникают сопутствующие проблемы, интенсивные исследования и разработки, в области водородных технологий, позволят преодолеть их, и возможно в ближайшем будущем мы сможем наблюдать самолёты, использующие водород и работающие на постоянной основе.

Учитывая потенциал водорода, в работе исследовалось влияние использования водорода на режим работы двигателя самолёта, и изменения удельных характеристик самолёта. Были проведены расчёты по охлаждению корпуса двигателя водородом, и эффект от сжигания водорода в камере сгорания. Результаты показали целесообразность использования водорода в качестве охлаждающего агента, относительно современных охлаждающих агентов используемых в самолётах, и эффективность использования водорода в качестве дополнительного топлива.

Литература

1. **Н.В. Кулешов, С.К. Попов, С.В. Захаров и др.** Водородная энергетика: учебник / М.: Издательство МЭИ 2021. — 548 с.

*В.А. Зайцев, Я.В. Исаев, студенты,
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЁТА СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВИЭ И ВОДОРОДНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Системы автономного энергоснабжения, основанные на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и технологий водородного накопления, предоставляют экологически чистое и надёжное решение для удалённых объектов и децентрализованных потребителей. Такие системы позволяют эффективно сочетать преимущества локальной генерации энергии с возможностью её длительного хранения. Основной проблемой применения ВИЭ остаётся их нестабильность, связанная с переменной выработкой энергии. Для устранения этого недостатка избыточная энергия преобразуется в водород методом электролиза, который затем хранится и используется в водородно-кислородных топливных элементах для выработки электроэнергии в периоды снижения генерации [1].

В данном исследовании разработан алгоритм, обеспечивающий расчёт параметров автономной системы энергоснабжения, включающий анализ колебаний выработки энергии ВИЭ и её потребления со среднечасовой дискретизацией. Алгоритм учитывает энергетические потери на каждом этапе её преобразования, а также зависимость КПД ключевых компонентов от уровня нагрузки. Учёт этой зависимости позволяет повысить точность расчётов и спроектировать систему с оптимальными параметрами компонентов. Для повышения общей энергоэффективности системы рассматривается схема, покрывающая тепловые потребности потребителей за счёт преобразования энергии ВИЭ в тепло посредством водородных котлов и электробойлеров. Так же обеспечивается взаимодействие с базами данных, содержащих информацию о климате и жилом фонде, что упрощает сбор данных об автономном объекте, предшествующий расчёту.

Применение предложенного подхода обеспечивает устойчивое энергоснабжение удалённых объектов с высоким потенциалом использования ВИЭ, снижая их зависимость от органического топлива и повышая экологичность энергоснабжения.

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

Д.А. Хроничев, студ.;
рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С МЕТАЛЛГИДРИДНЫМ БЛОКОМ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к водородной энергетике, что связано с необходимостью перехода к экологически чистым и энергоэффективным технологиям. Одной из ключевых задач является создание инфраструктуры для транспортировки и потребления водорода и энергетических смесей на его основе, а также развитие отечественных низкоуглеродных технологий производства, хранения, транспортировки и использования водорода [1, 2]. Металлогидридная технология хранения водорода обладает рядом преимуществ: высокая плотность хранения водорода, сравнительная безопасность и обратимая способность поглощать и выделять водород, что делает этот метод перспективным для использования в автономных системах энергоснабжения [3–5].

Настоящая работа представляет результаты анализа тепловых и массовых потоков в металлогидридном реакторе, интегрированном в автономную систему энергоснабжения с электрохимическим источником тока (топливным элементом) и электролизером. Представлены экспериментальные данные работы автономной системы энергоснабжения и показаны особенности процессов металлогидридного блока. Результаты показывают, что оптимизация теплового отвода, использование материалов с высокой теплопроводностью и усовершенствование конструкции металлогидридного блока могут значительно повысить отклик и эффективность работы автономной системы. В будущем такие системы могут быть интегрированы с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные панели, для обеспечения полной автономности и экологической чистоты.

Литература

1. **Энергетическая стратегия** Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy> (дата обращения 22.11.2024).
2. **Концепция развития** водородной энергетики в Российской Федерации <http://government.ru/docs/42971/> (дата обращения 22.11.2024).
3. **Н.В. Кулешов, С.К. Попов, С.В. Захаров и др.** / Водородная энергетика — Москва: НИУ МЭИ, 2021. — 548 с.
4. **Dunikov D.O., Borzenko V.I., Blinov D.V., Kazakov A.N., Romanov I.A., Leontiev A.I.** «Heat and mass transfer in a metal hydride reactor: combining experiments and mathematical modelling» *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2057, 2021, pp. 012122.
5. **M.V. Lototsky, B.P. Tarasov, V.A. Yartys** «Gas-phase applications of metal hydrides», *Journal of Energy Storage*, vol. 72 (D), 2023, pp. 108165.

В.Д. Михневич, асп.; В.Е. Елецких, асп.;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТОПЛИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ГЕОМЕТРИИ БИПОЛЯРНОЙ ПЛАСТИНЫ

Биполярная пластина (БП) играет роль электрического коммутатора соседних топливных элементов и имеет каналы подвода газообразных реагентов к электродам и отвода продуктов реакции- воды [1]. Геометрия каналов БП является ключевым фактором, влияющим на производительность топливного элемента (ТЭ). Форма и структура каналов влияют на равномерность распределения реакционных газов в пористых структурах, на интенсивность конвекции газов в пространстве между соседними каналами и, как следствие, определяют распределение плотности тока. Наилучшее распределение плотности тока приводит к улучшению вольтамперной характеристики.

Для определения влияния геометрии биполярной пластины ТЭ проведено моделирование различных конфигураций, имитирующих разные подходы к реализации оптимального течения внутри каналов топливных элементов. Модель для исследования представлена единичным укороченным ТЭ, состоящим из прямых анодных и катодных каналов, газодиффузионных слоев (крупнопористого и мелкопористого); каталитических слоев и протонопроводящей мембраны. В результате решения массообменной задачи были определены массовые доли воды, кислорода и воды по длине ячейки ТЭ, получено распределение плотности тока, давления, а также построена вольтамперная характеристика для каждого варианта исследуемой конфигурации.

Определение оптимальной конфигурации БП включало в себя изменение ширины межканального расстояния при сохранении размеров реакционного канала, изменение ширины канала, изменение высоты канала, а также добавление перегородок на входном и выходном участке и по длине канала. Уменьшение расстояния между каналами и добавление перегородок приводит к интенсификации конвекции кислорода в межканальном пространстве, обеспечивая равномерность распределения плотности тока. Помимо этого, комплексный анализ учитывает простоту изготовления БП и обеспечение наименьших потерь давления по длине ячейки ТЭ.

Литература

1. **Нефедкин, С.И.** Н 58 Физико-химические методы исследований в технологиях электрохимической энергетики: учебник / С.И. Нефедкин. — М.: Издательство МЭИ, 2024. — 460 с. ISBN 978-5-7046-2965-8

*А.Р. Володченков, студ.; С.В. Курочкин, к.т.н., ст. преп.;
рук. В.Н. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ

Уже долгие годы щелочной электролиз воды активно используется для получения чистого водорода в различных сферах производства. Данный тип электролизеров воды отличается от установок с протонообменной мембраной относительной простотой конструкции и повышенными ресурсными характеристиками. Отказ от использования асбестовых диафрагм привел к появлению нового класса мембран, в основе которых лежит полимерная матрица с гидрофильным наполнителем TiO_2 или ZrO_2 . Данный класс микропористых незаряженных мембран получают с помощью фазовой инверсии. В настоящее время ведутся исследования по использованию других щелочестойких полимерных материалов, одним из которых является полипропилен. В данном исследовании за основу будущей мембраны использована полипропиленовая матрица с номинальным размером пор в 0,2 мкм. Для придания данной основе свойств гидрофильности в нее был импрегнирован TiO_2 . Для этого был синтезирован гель гидратированного диоксида титана, полученный с помощью гидролиза $Ti(-O-iC_3H_7)_4$. После пропитки гелем полученная мембрана дополнительно вымачивалась в 6М растворе КОН. Для тестирования изготовленной мембраны были использованы электроды на основе никелевой пены, на поверхность которой было проведено электроосаждение каталитических слоев по методике, указанной в работе [1]. Исследования в лабораторной электролизной ячейке при температуре электролита 6М КОН 70°C позволили получить напряжение в 2,3 В при плотности тока в 350 мА/см². В данном режиме электролизная ячейка отработала в течении 100 часов. За указанный промежуток времени значение напряжения возросло до 2,4 В. Полученные данные позволят улучшить технологию получения мембран на основе полипропиленовой матрицы в дальнейших исследованиях.

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 г.

Литература

1. А.А. Гаврилюк, В.Н. Кулешов, С.В. Курочкин, И.И. Ланская, Я.В. Исаев. Композитные каталитические сплавы Ni-Mo и Ni-Mo-Co для щелочного электролиза воды. Электрохимическая энергетика, 2024, том 24, № 2, с. 76–87.

К.Л. Дао, асп.; рук. А.В. Елецкий, д.Ф-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРКОНДЕНСАТОРА МЕТОДОМ ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКОГО ЗАРЯДА-РАЗРЯДА

Гальваностатический заряд-разряд является важным методом для исследования характеристик суперконденсаторов (СК) и их компонентов. Этот метод позволяет анализировать поведение ячейки СК в процессе циклической заряда и разряда, что является критически важным для оценки ее эффективности, долговечности и практического применения. Во время гальваностатического заряда и разряда поддерживается постоянный ток, что позволяет исследовать зависимости напряжения от времени. Определение различных характеристик, таких как электрическая емкость, коэффициенты полезного действия и сопротивление, возможно благодаря анализу полученных данных.

Удельная емкость ячейки с двумя электродами может быть рассчитана по следующему уравнению:

$$C_{\text{яч}} = \frac{It}{m\Delta V} \quad (1)$$

где $C_{\text{яч}}$ — удельная емкость (Ф/г); I — ток при разряде (А); t — время разряда (с); m — масса двух электродов (г); ΔV — изменение напряжения (В) на ячейке за время разряда t .

СК можно рассматривать как систему двух последовательно соединенных конденсаторов. Поэтому удельная емкость электродного материала C_0 определяется по формуле:

$$C_0 = 4C_{\text{яч}} \quad (2)$$

Омическое сопротивление ячейки СК определяется по формуле:

$$R = \frac{\Delta}{I} \quad (3)$$

где R — омическое сопротивление (Ω); Δ — омическое падение напряжения (В); I — ток при разряде (А).

Мною проведен эксперимент с целью определения влияния размеров ионов электролита на характеристики СК. По результатам, полученных данных можно сделать вывод, что использование органических солей с размером аниона около 0,6 нм и более приводит к более быстрому падению удельной емкости с увеличением плотности тока выше 0,5 А/г по сравнению с неорганическими солями, что объясняется диффузионным контролем образования двойного электрического слоя.

Работа выполнена в рамках Госзадания FSWF-2023-0016.

Литература

1. Астахов м.в и др. // Бутлеровские сообщения. 2018, Т.54, № 5, 82–89.

И.А. Беляков, студ.;
рук. Д.В. Блинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Нестабильная ситуация на мировых энергетических рынках в последние года приводит к поиску альтернативных источников энергии. Водород рассматривается как перспективный вторичный энергоноситель, способный обеспечить получение надежной, доступной, стабильной и более экологичной энергии [1–3]. Однако для реализации преимуществ водорода и построения экономически самодостаточной водородной промышленности в Российской Федерации необходимо принять комплекс мер, изложенных в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, Концепции развития водородной энергетики, Дорожной карте «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года», Технологической стратегии развития водородной энергетики в Российской Федерации до 2035 года, а также доработанный проект Комплексной программы развития низкоуглеродной водородной энергетики в Российской Федерации. Одной из ключевых задач является создание инфраструктуры для транспортировки и потребления водорода и энергетических смесей на его основе, а также развитие отечественных низкоуглеродных технологий производства, хранения, очистки, транспортировки и использования водорода.

Перспективными материалами для решения вопросов хранения и очистки водорода, разработки систем компримирования, систем аккумуляции тепловой и электрической энергии являются обратимые гидриды интерметаллических сплавов (ИМС). Металлогидридные системы очистки и хранения водорода на основе ИМС перспективны для разделения водорода из газовых смесей, а также для создания систем аккумулирования энергии для автономных стационарных энергоустановок, в том числе на основе ВИЭ, за счет гибких возможностей регулирования параметров сорбции/десорбции водорода [4].

В данной работе представлены результаты исследования процессов при извлечении водорода из газовой бинарной смеси водород/метан при помощи металлгидридного реактора хранения и очистки водорода. Показаны основные параметры процесса и рассчитана эффективность данного метода очистки.

Литература

1. **Линник Ю.Н., Фалыхова Е.Д.** Водородная энергетика и перспективы ее развития. Вестник университета. 2023;(4):33–39.
2. **Н.В. Кулешов, С.К. Попов, С.В. Захаров и др.** / Водородная энергетика — Москва: НИУ МЭИ, 2021. — 548 с.
3. **Новак А.** Водород: энергия «чистого» будущего // Энергетическая политика. — 2021. — № 4 (158). — С. 6–11.
4. **Lynch F.E.** Metal hydride practical applications // J Less Common Met, 172–174, 1991, pp. 943–958.

С.С. Щербакова, студ.;
рук. С.В. Тютрина, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

СИНТЕЗ ГИБРИДНОГО ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКОГО ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

В последнее время значительное внимание уделяется разработке твердых полимерных электролитов, основанных на органо-неорганических материалах, полученные путем комбинации ионов металлов с многофункциональными органическими анионами, образующими внутреннюю сферу [1]. В качестве твердого электролита предлагается использовать комплексное соединение, в состав которого входят борная, лимонная кислоты и катионы двухвалентной меди (Cu^{+2}). Методика получения нового органо-неорганического твердотельного электролита основана на двухступенчатом синтезе комплексного соединения. Первично идет формирование внутренней сферы комплекса на основе борной и лимонной кислот. Вторым этапом является формирование внешней сферы, в состав которой входят ионы двухвалентной меди. Порошок оксида меди берется в разных концентрациях от 0,005 М до 2 М, добавляется в раствор постепенно при постоянном перемешивании. Изменяя концентрацию ионов меди в момент синтеза гибридного электролита можно изменять его молекулярную структуру, что сказывается на физико-химических характеристиках полученного соединения [2]. Изменяя концентрацию ионов меди от 0,005 М до 2 М наблюдали увеличение значения напряжения от 0,36 В до 0,48 В вследствие более высокой проводимости, а ΔE уменьшается от 0,134 В до 0,1 В. Разная концентрация ионов меди влияет не только на электрохимические свойства, но и на растворимость твердого электролита, а также на коэффициенты диффузии соединения. Коэффициенты диффузии (D) Cu^{+2} находятся в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-6} $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$, при изменении концентрации от 5 мМ до 2 М соответственно. Синтезированное органо-неорганическое комплексное соединение можно использовать в электрохимической ячейке, как твердый электролит в химических источниках тока, в электролитических конденсаторах.

Литература

1. **Man Y., Jaumaux P., Xu Y., Fei Y.** Research development on electrolytes for magnesium-ion batteries, Science Bulletin, 2023. Vol. 68. Issue 16. P. 1819–1842.
2. **Скундин В.А. Кулова Т.Л. Ярославцев А.Б.** Структурные и проводящие характеристики Fe/CO -нанотрубок // Электрохимия. 2018. Т. 2, № 54. С. 113–152.

В.А. Полякова, студ.; рук. С.В. Тютрина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОГО ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Применение гибридных электролитов, основанных на металлоорганических каркасах является очень перспективным направлением в электрохимии, т.к. данные материалы обладают большой площадью поверхности, имеют простую модификационную структуру [1]. Были проведены физико-химические исследования синтезированного органо-неорганического электролита на основе борной, лимонной кислот и катионов двухвалентной меди. Спектры поглощения твердого электролита получены с помощью спектрофотометра Perkin Elmer Lambda19 UV/Vis/NIR-спектрофотометр (PerkinElmer, Великобритания) в кварцевых кюветках с оптическим трактом (ОП) 10 мм. Электрохимические свойства синтезированных комплексов, содержащих ионы Cu(II) во внешней сфере с различной концентрацией исследованы методом деконволюции УФ/ВИД спектров. Обнаружены пики валентных колебаний в области 740, 1132 и 1349 см⁻¹, отвечающие за прочность химической связи всего соединения, что связано с уменьшением влияния катиона на внутреннюю сферу. Были сняты поверхностные СЭМ-изображения матрицы твердофазного электролита с использованием поляризационного микроскопа ZEISS AXIO Score A1. На СЭМ-изображениях матрицы органо-неорганических электролитов. Наличие большого количества сферолитов вызывает ослабление ион-дипольных взаимодействий, что в свою очередь приводит к изменению ионной проводимости [2]. Органо-неорганический гибридный электролит может быть рекомендован в качестве материала для электрохимической ячейки при работе химических источников тока. Дополнительно можно использовать как электрохромный материал, применяемый для затемнения стекол, зеркал, оптического ободования или в системах отображения информации с малым энергопотреблением.

Литература

1. **Шраер С.Д., Лучинин Н.Д., Трусов И.А., Аксенов Д.А.** Разработка материалов для положительного электрода на основе полианиона ванадия для высоковольтных натриевых аккумуляторов // Nat. Commun. 2022. № 13. С. 31768–31774.
2. **Zhang V.S., Song H.M., Huang V.V.** Improving the characteristics of organic sodium batteries in ionic liquid electrolytes, *Frontiers of inorganic Chemistry*. 2021. № 8. P. 4751–4756.

*А.Р. Володченков, Х.М. Зайниддинов, студ.;
рук. С.В. Курочкин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ

С каждым годом растет потребность в развитии водородных технологий, в частности, активно развивается щелочной электролиз воды, который используется для получения чистого водорода в различных сферах производства. Щелочные электролизеры воды (ЩЭВ) обладают более продолжительным ресурсом работы, а также требуют более низких капиталовложений, так как не имеют в своей конструкции дорогостоящих титановых электродов и катализаторов на основе металлов платиновой группы.

Одним из основных направлений улучшения ЩЭВ является разработка высокоактивных электродов на основе никеля: спеченные никелевые электроды, никелево-поверхностные скелетные катализаторы и никель Ренея. Представленные электроды служат основой для нанесения на них каталитических покрытий различными способами.

В данной работе были синтезированы электроды с каталитическим покрытием Ni-Mo и Ni-Mo-Co. Основой для электродов применялась никелевая пена толщиной 1.5 мм с содержанием Ni > 99.8%, пористостью 95–97%. Для проведения исследований с электроосажденным каталитическим покрытием была использована трехэлектродная ячейка.

В полученных результатах было определено, что требуемое содержание Mo, коррелирующее с наибольшей каталитической активностью по отношению к реакции выделения водорода, было получено у образца электрода, полученного из электролита следующего состава: NiSO₄ (139 г/л); Na₂MoO₄ (5,8 г/л); H₃BO₃ (33,3 г/л). При плотности тока 550 мА/см² и температуре электролита (6М КОН) 20°C снижение перенапряжения выделения водорода составило 287.3 мВ. Рассмотренные плотности тока соответствуют перспективным щелочным электролизным батареям.

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 г.

Литература

1. А.А. Гаврилюк, В.Н. Кулешов, С.В. Курочкин, И.И. Ланская, Я.В. Исаев. Композитные каталитические сплавы Ni-Mo и Ni-Mo-Co для щелочного электролиза воды. Электрохимическая энергетика, 2024, том 24, № 2, с. 76–87.

З. Пезешки, студ.;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ ГИБРИДНОГО АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКМПЛЕКСА С ВОДОРОДНЫМ ЦИКЛОМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В этой статье мы представили решение с новым методом сезонного хранения энергии путём производства водорода. Этот метод основан на использовании солнечной энергии для производства электроэнергии в сочетании с водородной системой комбинированного производства тепла и электроэнергии (ТЭЦ) на основе электрохимии, и может быть испытан в доме, расположенном в России. Этот метод позволяет нам справиться с проблемой несинхронного спроса и предложения электроэнергии, тепла и холода, которая заключается в хранении энергии в то время, когда выработка энергии превышает спрос. В этой связи водород получают путём электролиза воды для хранения избыточной электроэнергии, вырабатываемой летом в виде водорода, который зимой можно снова преобразовать в электричество в здании.

В данной статье разработана схема производства, сезонного хранения и использования водорода в энергоэффективном доме в России, поскольку технологии сезонного хранения энергии имеют большое значение для практического применения во всем мире. При этом рассчитывается потребность в водороде и производительность топливных элементов для выработки электрической и тепловой энергии. Электрическая энергия используется в тепловом насосе для отопления и горячего водоснабжения, а также для различных домашних целей. Затем рассчитывается количество водорода, которое нужно произвести электролизёром, а также количество воды для электролиза. Затем определяется оборудование для производства водорода летом, сезонного хранения и его использования зимой. Для получения результатов расчёта используются компьютерные программы Epsilon, Ansys и Aspen One.

Литература

1. **Пезешки, З. и др.** Полимеры и их композиты для применения при расщеплении воды // Полимеры в преобразовании и хранении энергии // Издательства: CRC Press, 2022, С. 317–336, DOI: 10.1201/9781003169727-17
2. **Белехова, Н. и др.** Система производства, хранения и использования водорода для сезонного аккумулирования энергии в энергоэффективном доме // Энергосбережение Теория И Практика: Тр. 11-й Всерос. конф. М.: 2022, С. 63–69, УДК: 661.931.

*Г.И. Гвоздев, М.М. Преждецкий, студенты;
рук. Н.В. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Согласно последним директивным документам, Россия планирует экспортировать к 2024 году 0,2 млн. тонн водорода, а к 2035 году — 2 млн. тонн водорода [1], при этом значительная доля «зеленого» водорода должна быть получена методом пиролиза природного газа.

Для производства водорода рассмотрен перспективный и современный способ получения водорода на установке плазмохимического пиролиза, которая разрабатывается и вводится в эксплуатацию во «ВНИИ ГАЗ». Установка имеет следующие характеристики: производительность по газу 1 м³/час; объемное содержание водорода в метано-водородной смеси на выходе установки 60–70%; напряжение питания 380В; частота питания 50 Гц и потребляемая мощность не более 30 кВт.

В ходе первых экспериментов показано, что при угле инжекции газа 25° объемная концентрация водорода в метано-водородной смеси составляет (20–27) об.%, а при угле инжекции газа 87° объемная концентрация водорода составляет (40–45) об.%

Таким образом, с помощью изменения угла инжекции газа можно увеличить расход газа, и, как следствие, увеличить производительность и эффективность установки по получению метано-водородного топлива (МВТ) [2].

Проведено технико-экономическое сравнение методов получения водорода разрабатываемым плазмохимическим пиролизом природного газа с электролизом воды.

«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.

Литература

1. **Мишустин М.В.** О плане мероприятий по реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года Распоряжение Правительства РФ от 01.06.2021 N 1447-р.
2. **Жерлицын А.Г.** Патент № RU 2755267 C1 Российская Федерация, СПК В01J 19/24; C01B 3/50; C10L 3/10. Устройство для получения метано-водородного топлива из углеводородного газа.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Переход на возобновляемые источники энергии — важнейший шаг на пути к глобальной климатической нейтральности, где водород становится краеугольным камнем такой трансформации [1]. Будучи универсальным энергоносителем, водород обладает огромным потенциалом для декарбонизации энергетического, транспортного и промышленного секторов, органично вписываясь в системы возобновляемой энергетики [2].

Водородное резервирование решает проблему нестабильности возобновляемых источников, обеспечивая балансировку сети и распределение энергии. Оно использует высокую плотность энергии и возможности длительного хранения водорода для создания надежных энергетических резервов для возобновляемых систем. Достижения в области производства водорода, такие как протонообменные мембраны и щелочной электролиз на основе возобновляемых источников энергии, открывают путь к нулевому уровню выбросов.

В то же время инновации в системах хранения водорода на основе физических и материальных материалов — от сосудов под давлением высокой плотности до гидридов металлов — решают важнейшие проблемы плотности хранения, безопасности и масштабируемости. Физические методы хранения водорода, такие как хранение сжатого газообразного водорода в сосудах под давлением с полимерной облицовкой и жидкого водорода в криогенных контейнерах, набирают популярность благодаря своей масштабируемости и эффективности. С химической стороны перспективные технологии включают адсорбционное хранение с использованием пористых материалов, таких как цеолиты и мезопористые соединения, а также гидриды металлов для обратимого поглощения и высвобождения водорода. Жидкие органические носители водорода (ЛОНС), такие как N-этилкарбазол, предлагают обратимые процессы гидрирования и дегидрирования, обеспечивая безопасные, компактные и высококачественные решения для хранения. Интеграция этих технологий, особенно в системы водородного резервирования, повышает мощность и устойчивость систем возобновляемых источников энергии.

Литература

1. **Радченко Р.В.** Водород в энергетике. Екатеринбург: Изд-во Урал. 2014.
2. **Вечкинзова Е.А.** Обзор мировых и российских тенденций развития водородной энергетики // Управление. 2022. Т. 10. № 4. С. 26–37.

*Г.А. Кравченко, Е.А. Осоприлко, студенты;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТИЙ — ФТОРУГЛЕРОДНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящее время, в связи с интенсивным освоением Арктики, космоса и глубин океана, а также бурным развитием электротранспорта, проблема создания низкотемпературных химических источников тока является чрезвычайно важной задачей. Среди существующих химических источников тока наивысшими энергетическими параметрами обладают литиевые системы. Апротонные диполярные электролиты, используемые в их составе позволяют эффективно эксплуатировать литиевые системы вплоть до -20°C , однако дальнейшее снижение температуры эксплуатации приводит к быстрой деградации энергетических параметров.

Сегодня актуальным является создание литиевых источников тока способных к эффективной эксплуатации в температурном интервале от -20 до -40°C . В настоящей работе предлагается решить данную проблему за счет использования в рецептуре электролита компонентов с низкой температурой замерзания и модификации структуры положительного электрода.

Испытания были проведены на макетах литий-фторуглеродных элементов ($\text{Li}/(\text{CF}_x)_n$). В качестве растворителей использовали смеси пропиленкарбоната ПК, демитоксиэтана (ДМЭ) тетрагидрофурана (ТГФ) этиленкарбоната (ЭК), диэтилкарбоната (ДЭК) и диметилкарбоната (ДМК) в различных сочетаниях и соотношениях. В качестве солей применяли LiClO_4 и LiPF_6 . Концентрация соли в электролите составляла 1 моль/л. Низкотемпературные характеристики катода улучшали повышением доли электропроводного компонента и введением в структуру функциональных добавок. Испытания макетов проводили при -20 до -40°C .

ДЭК и особенно ТГФ имеют низкую температуру плавления поэтому элементы на базе электролитов, содержащих эти растворители обладали наилучшими электрохимическими характеристиками в условиях низких температур. Малая вязкость ТГФ также положительно сказывается на работе макетов литиевых элементов при комнатной температуре.

Содержания электропроводящей добавки в структуре катода для низкотемпературного разряда по данным эксперимента не должно быть ниже 30 масс.%. В качестве функциональных добавок рекомендуется использовать ванадат серебра и пентоксид ванадия.

Разработанные макеты $\text{Li}/(\text{CF}_x)_n$ элементов показали высокую эффективность при -40°C .

Секция 41

ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ

Economics of energy

Председатель секции: к.э.н., доцент Мусаева Диана Эркиновна

Секретарь секции: к.э.н., доцент Овчинникова Юлия Александровна

П.С. Матвеева, студ.; рук. А.В. Горбенко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСЧЕТ СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТАХ

Во время проведения центральным банком РФ жесткой денежно-кредитной политики длительный период высокой ключевой ставки является фактором риска для инвестиционной деятельности предприятий. Вследствие этого особенно актуальным становится вопрос разработки механизмов расчета ставки дисконтирования и бездолгового бета-коэффициента, которые являются индикативными показателями при оценке экономической эффективности инвестиционных проектов в электроэнергетике.

Рейтинговые агентства присваивают страновые рейтинги для заимствований в национальной и иностранной валюте. При значении индекса Aaa (Moody's) или AAA (S&P) ставку по правительственным облигациям можно считать безрисковой [1]. После 2022 г. Moody's и S&P отозвали рейтинги России и ее регионов, в связи с чем основа расчета безрисковой ставки по доходности долгосрочных ОФЗ-ПД не является единственным корректным способом. При расчете премии за риск в качестве коэффициента бета для расчета ставки дисконтирования рекомендуется использовать бездолговой коэффициент бета для электроэнергетической отрасли. Ставка дисконтирования имеет вид:

$$K_E = R_F + b_E \times ERP + S_1 + S_2 + Z$$

где K_E — ставка дисконтирования на собственный капитал, %; R_F — безрисковая ставка, %; b_E — коэффициент «бета» для «долговой» фирмы; ERP — рыночная премия за риск акционерного капитала, %; S_1 — премия за страновой риск, %; S_2 — премия за размер, %; Z — премия за специфический риск, %.

Таким образом, посредством повышения точности расчетов ставки дисконтирования и бета-коэффициента можно добиться повышения эффективности инвест-планирования на предприятиях электроэнергетики.

Литература

1. **Damodaran, A.** Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. John Wiley & Sons, 2002.

М.С. Аипкина, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА «МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМСОМОЛЬСКОЙ ТЭЦ-2»

Модернизация электростанций является значимым элементом для эффективного электроснабжения. Экономическая оценка эффективности в данной сфере позволяет определить эффективность проекта, его доходы, риски, расходы.

В соответствии с государственной программой по модернизации тепловой энергии, которая началась в 2019 году и была продлена до 2030 года, будет проведена модернизация объекта.

Объектом исследования является «Комсомольская ТЭЦ-2» АО «ДГК» (входит в группу ПАО «РусГидро»). Это тепловая электростанция в городе Комсомольске-на-Амуре, Хабаровский край.

Дальний восток является приоритетным для ПАО «РусГидро» регионом. На территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) электростанции компании вырабатывают три четверти всей электрической энергии и являются крупнейшими производителями тепла. При этом ПАО «РусГидро» отвечает за передачу электрической энергии в регионе, владея более 100 тыс. км. электрических сетей, а также осуществляет продажу энергии конечным потребителям.

Модернизацией данной ТЭЦ будет заниматься дочерняя компания АО «Дальневосточная генерирующая компания» — ООО «ИТЭ-Проект». В ходе модернизации планируется увеличения ее установленной электрической мощности с 197,5 МВт до 240 МВт. При этом рассматривается два альтернативных варианта: строительство паросиловой угольной ТЭЦ на базе теплофикационных паровых турбин и строительство новой ГТУ-ТЭЦ на базе газотурбинных установок. Согласно разработанному в 2023 году плану, ввод объекта в эксплуатацию запланирован в 2029 году.

В работе проведена экономическая оценка инвестиций в объект «Модернизация Комсомольской ТЭЦ-2» по двум альтернативным вариантам, найден срок окупаемости каждого и чистый дисконтированный доход, по итогам которых был сделан выбор в пользу наиболее выгодного с экономической точки зрения варианта.

Литература

1. О модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций // government URL: <https://government.ru> (дата обращения: 08.10.24).
2. Модернизация Комсомольской ТЭЦ-2 // РусГидро URL: rushydro.ru (дата обращения: 05.10.24).

В.О. Разживина, студ.;
рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Искусственный интеллект (ИИ) лежит в основе четвертой промышленной революции и на сегодняшний день является драйвером развития современной экономики. Однако с внедрением ИИ наблюдается значительное увеличение вычислительных мощностей, что ведет к росту мирового энергопотребления.

Особенность центров обработки данных (ЦОД) как энергопотребителей заключается в наличии у них постоянной нагрузки. Установленное в ЦОД IT-оборудование потребляет электроэнергию постоянно и в большом объеме. Энергозатраты на поддержание работы систем ИИ продолжают расти, вызывая значительные нагрузки на существующую энергетическую систему, а дополнительную потребность в электрической мощности вряд ли удастся покрыть за счет возобновляемой энергии (солнечных панелей, ветряных энергоустановок и т.д.).

Актуальным становится прогнозирование влияния развития технологий искусственного интеллекта на энергопотребление. Так по данным Международного энергетического агентства ЦОД уже потребляют около 1% мировой электроэнергии, а к 2030 г., как ожидается, энергопотребление достигнет 5%. Сравнительный анализ энергозатратности технологий ИИ и традиционных технологий выявил, что запрос к чат-боту с искусственным интеллектом ChatGPT требует почти в 10 раз больше энергоресурсов, чем обычный поиск в интернет-браузере, а обучение языковой программной модели (нейросети) GPT-3 требует около 1300 МВт·ч электроэнергии — это примерно столько же, сколько расходуют 130 частных домов за весь год.

Однако стоит отметить и второй аспект использования искусственного интеллекта. Так наряду с ростом энергопотребления, развитие технологий искусственного интеллекта может привести к перестройке структуры мировой экономики и сокращению потребления электроэнергии в других отраслях и сферах деятельности. Согласно исследованию Boston Consulting Group, при разумном использовании ИИ в экономике можно сократить выбросы парниковых газов на 5–10% к 2030 году. [1]

Дальнейшее исследование авторов будет направлено на разработку прогнозной модели оценки влияния развития технологий искусственного интеллекта на энергопотребление.

Литература

1. **Л.В. Массель.** Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2021 — № 4(24). — С. — 5–20.

О.С. Власенко, студ.; рук. Е.И. Рукина, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Цифровая трансформация занимает важное место в экономике, поскольку позволяет компаниям адаптироваться к стремительно меняющимся условиям рынка. Этот процесс представляет собой изменение существующих бизнес-процессов посредством внедрения современных цифровых технологий.

Объектом данного исследования является нефтегазовая промышленность. Отрасль включает разведку, добычу, переработку и транспортировку нефти и газа. Нефтегазовая промышленность России играет ключевую роль в экономике страны, включая значительную долю доходов.

В условиях глобальных изменений и необходимости повышения эффективности, внедрение цифровых технологий способствует оптимизации производственных процессов и сокращению расходов [1].

Таблица 1. Влияние цифровой трансформации на производственные процессы

Показатель	Факт	Прогнозируемое значение	Δ
Годовая добыча нефти, млн. т	32,5	34,2	+1,7
Коэффициент извлечения нефти, %	23,4	27,2	+3,8

В процессе выполненной работы были выявлены возможности и ключевые проблемы, связанные с цифровой трансформацией нефтегазовой промышленности, а также разработаны рекомендации по их решению.

В настоящее время компании разрабатывают свои уникальные стратегии цифровой трансформации, что приводит к несогласованности. Основная проблема — отсутствие единой методики, это приводит к тому, что компании полагаются на различные взгляды и методы, что замедляет процесс разработки и внедрения.

Несмотря на внезапные вызовы, переход к новым технологиям в нефтегазовой отрасли открывает возможности для повышения конкурентоспособности и устойчивости компаний, включая увеличение объемов добычи углеводородов и улучшение экономических показателей.

Таким образом, разработка единой методики цифровой трансформации позволит оптимизировать бизнес-процессы, что приведет к снижению операционных затрат, повышению конкурентоспособности компаний на мировом рынке.

Литература

1. **Азиева Р.Х.** Мониторинг результатов цифровой трансформации в нефтегазовой отрасли // 2022. С. 21 – 28.12.

Л.П. Курцев, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Строительство воздушных линий электропередач является ключевым элементом для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения. В условиях постоянно растущих потребностей в электроэнергии, вызванных как увеличением населения, так и развитием промышленности, необходимо рационально подходить к планированию и реализации инвестиционных проектов в данной сфере. Оценка экономической эффективности таких инвестиций позволяет определить целесообразность проекта, рассчитать ожидаемые доходы и расходы, а также выявить риски.

В соответствии с «Стратегией развития электросетевого комплекса Российской Федерации», принятой в 2013 году, перед электросетевым сектором поставлена задача обеспечения надёжного, качественного и доступного электроснабжения для потребителей на всей территории соответствующего региона путём организации максимально эффективной и соответствующей мировым стандартам сетевой инфраструктуры [1].

В работе рассмотрена компания ПАО «Россети Северо-Запад» — основной оператор, который оказывает услуги по передаче электрической энергии и присоединению к электросетям в Архангельской, Вологодской, Мурманской, Новгородской, Псковской областях, Республике Карелия и Республике Коми [2]. Проанализирован проект строительства ВЛ 110 кВ № 103 Воркутинская ТЭЦ № 2 — ПС 110/10 кВ Ольховой, предназначенный для подключения энергопринимающих устройств КС-5 «Усинская» к электрическим сетям ПАО «Россети Северо-Запад» в Республике Коми. По окончании строительных работ будут проложены воздушные линии электропередач длиной 163 км в Воркутинском и Интинском районах республики Коми.

Для экономического обоснования строительства воздушных линий электропередач был определен размер инвестиционных затрат в строительство электросети, рассчитаны показатели оценки экономической эффективности. По результатам расчета полученные ЧДД и срок окупаемости говорят об экономической эффективности строительства.

Литература

1. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации, утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 511-р [Электронный ресурс] — URL: <http://static.government.ru/media/files/41d47c37c741bf7feb74.pdf>
2. Официальный сайт ПАО «Россети Северо-Запад» [Электронный ресурс] — URL: <https://rosseti-sz.ru/>

К.Т. Таджидинова, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

На сегодняшний день рынок технологий энергоснабжения, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов энергетической отрасли. Согласно Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) [1] в июле 2023 года общая мощность ВИЭ, подключённых к энергосистеме, превысила 6 ГВт. В конце 2022 года данный показатель был равен 5,78 ГВт, то есть за полгода в России стало на 4% больше возобновляемых мощностей. Данный стремительный рост вызван следующими ключевыми факторами: истощение ресурсной базы традиционных источников энергии, рост цен на энергоносители на мировом рынке, а также усиление активности природоохранных организаций в связи с резким ухудшением экологической ситуации на Земле. Таким образом, вопрос привлекательности инвестирования в развитие технологий, основанных на использовании ВИЭ, является особенно актуальным.

В ходе проведения комплексного анализа было выявлено, что в России благодаря огромному географическому потенциалу особое внимание уделяется развитию ветровой, солнечной и гидро- энергетике. Перспективы рынка ВИЭ и требования к нему до 2035 года обозначены достаточно чётко. Согласно данным РЭА Минэнерго России [2] сегодня государственная поддержка развития ВИЭ в нашей стране идёт по нескольким основным направлениям: строительство электростанций ВИЭ, работающих на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ), на розничных рынках электрической энергии (РРЭ) и в технологически изолированных и труднодоступных территориях (ТИТТ), а также развитие рынка микрогенерации на основе ВИЭ.

Чтобы сделать развитие отрасли более интенсивным и результативным, а также повысить её привлекательность для инвесторов, можно обратиться к опыту Китая, который, будучи мировым лидером в области ВИЭ, внедрил национальную систему торговли квотами на выбросы углерода в генерации. Это стимулирует энергетические компании переходить на экологически чистые технологии и повышать свою энергоэффективность.

Литература

1. **Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ)** [Электронный ресурс] — URL: <https://reda.ru/>
2. **Российское энергетическое агентство** [Электронный ресурс] — URL: <https://rosenergo.gov.ru/>

Г.У. Халимова, студ.;
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК

Энергетика России, основой которой является топливно-энергетический комплекс (ТЭК), вносит значительный вклад в национальную безопасность и социально-экономическое развитие страны. Для сохранения устойчивого положения на рынке, необходимо встраиваться в передовые концепции развития. Внедрение цифровых технологий — значимый шаг, направленный на стремление оптимизировать производственные процессы, повысить эффективность и улучшить финансово-экономические показатели предприятия.

В результате проведенного анализа были выявлены ключевые цифровые технологии, которые оказывают наибольшее влияние на предприятия ТЭК: интернет вещей (IoT), с помощью которого осуществляется контроль технической исправности оборудования в целях предотвращения аварийных ситуаций; искусственный интеллект (ИИ) для прогнозирования потребления энергии, управления распределением ресурсов и повышения эффективности работы оборудования; большие данные (big data) — позволяют извлекать, преобразовывать, обрабатывать и хранить данные, которые не всегда учитываются, но могут косвенно влиять на работу производства, также повышают точности прогнозов экономического роста.

Однако, инвестиции в цифровизацию требуют значительных затрат и несут определенные риски, которые необходимо учитывать при принятии решений. Основной аспект — процесс цифровизации требует постоянных затрат на обслуживание и обновление технологий, что может негативно сказаться на финансовых показателях компании. Что касается рисков, то значимым является киберугроза, ведь с увеличением количества цифровых данных возрастает и вероятность кибератак, которые могут привести к утечке, остановке производственных процессов и значительным финансовым потерям.

Цифровые технологии — это необходимость, продиктованная современными вызовами. Для успешной реализации цифровой стратегии необходимо тщательно анализировать потенциальные выгоды и риски, а также разрабатывать комплексные планы по внедрению цифровых технологий. Только в этом случае предприятия ТЭК смогут максимально эффективно использовать преимущества цифровизации и обеспечить свою конкурентоспособность в быстро меняющемся мире.

Литература

1. **Салько М.Г.** Развитие инновационного потенциала цифровой трансформации предприятий топливно-энергетического комплекса.

С.В. Войткевич, асп.; рук. Е.Н. Лейман, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗМОЖНОСТИ ОБЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СУБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ИТ-КОМПАНИЙ

Общая инфраструктура субъектов электроэнергетики и ИТ-компаний включает в себя различные компоненты, которые обеспечивают функционирование и развитие этих организаций. Например, в электроэнергетике она может включать в себя системы управления электроэнергией, мониторинга и контроля работы оборудования, системы связи и передачи данных и другие компоненты, необходимые для обеспечения надежной работы электроэнергетических объектов в контексте цифровой трансформации электроэнергетического комплекса [1].

В то же время, для ИТ-компаний общая инфраструктура может включать в себя серверные помещения, вычислительные ресурсы, системы хранения данных, сетевые соединения и другие компоненты, необходимые для обеспечения работы информационных систем и сервисов

Территории атомных электростанций могут представлять собой идеальное место для размещения серверов из-за наличия стабильного источника энергии, строгих требований к безопасности (что впоследствии обеспечит безопасность критически важной инфраструктуры — серверного оборудования и информации на нем), а также наличия технического озера, воду из которого можно направлять не только на охлаждение реакторов, но и серверов, что позволит существенно снизить расходы на дополнительное оборудование для охлаждения последних.

Также стоит отметить, что атомные электростанции в России находятся под управлением государства, соответственно, стратегия развития определяются на уровне государства, что обеспечивает определенную стабильность и снижает риски для долгосрочного сотрудничества.

Сотрудничество с ИТ-компаниями может способствовать внедрению новых технологий и инноваций в электроэнергетике, а сдача в аренду пространства для серверов ИТ-компаний может стать дополнительным источником дохода для электроэнергетической компании. С другой стороны, ИТ-компании получают снижение затрат на энергию и охлаждение оборудования, а также продемонстрируют свою экологическую ответственность, так как потребление атомной энергии может помочь ИТ-компаниям снизить свой углеродный след.

Литература

1. Демьянова О.В., Бадриева Р.Р. Особенности реализации проектов индустрии 4.0 в электроэнергетике // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2022. № 3. С. 161–175.

А.З. Хугаев, асп.; рук. Е.Н. Лейман, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ВНЕДРЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Глобальные тенденции распространения информационных технологий во все сферах деятельности приводит к значительному изменению бизнес-процессов (БП) многих организаций. В проектно-изыскательских организациях актуальным становится внедрение и масштабирование на все БП BIM-технологий (цифровое моделирование зданий и сооружений), что требует пересмотра привычных способов работы, процедур и регламентов:

БП1 «Проектирование» и БП2 «Изыскания» станут цифровыми, при выполнении которых специалисты создают трехмерную информационную модель объекта строительства, и все участники проекта работают только с ней, наполняя актуальными данными об объекте на каждом этапе жизненного цикла. Можно автоматизировать некоторые аспекты процесса проектирования: создание спецификаций, подсчет материала и т.д., что позволит сократить время их выполнения и вероятность ошибок [1].

БП3 «Экспертиза проектов» и БП4 «Авторский надзор» претерпят изменения в части взаимодействия заказчика, застройщика, подрядчиков и представителей государственного контроля за счет существенного упрощения обмена данными (удаленный доступ ко всей актуальной информации об объекте) и визуализации проекта в трехмерном пространстве, разграничения прав доступа на внесение изменений, что позволит избежать недопонимания и снизить риск конфликтов между различными специалистами.

БП5 «Управление организационным развитием» необходимо расширить подпроцессом определения BIM-стандартов и процедур для применения в организации в соответствии с целями и задачами проектов.

БП6 «Управление проектами» дополнится подпроцессом виртуального проектирования, включающего симуляции вариантов реализации проекта с точки зрения стоимости, энергоэффективности и других параметров. Изменяются процедуры координации и кооперации участников проекта, методы контроля промежуточных результатов выполнения проекта [2].

Литература

1. **Рашев В.С., Астафьева Н.С., Рогожкин Л.С., Григорьев В.Ю.** Анализ внедрения технологии информационного моделирования в Российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем // Вестник Евразийской науки, 2020 № 3, <https://esj.today/PDF/49SAVN320.pdf> (доступ свободный).
2. **Галиев И.М., Самакалев С.С.** Пример изучения проектирования зданий с использованием BIM-технологий // Инновации и инвестиции. 2019. № 11. С. 262–264.

А.С. Крунтяева, студ.; рук. Е.И. Рукина., к.э.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В каждой компании существуют типичные для ее сферы деятельности бизнес-процессы, взаимосвязанные друг с другом, имеющие своей целью создание и реализацию продукции и услуг [1].

Особенности бизнес-процессов компаний энергетической отрасли обусловлены спецификой производственных процессов, протекающих в энергетике. Производственные процессы таких компаний отличаются технологическим единством и совпадением во времени процессов генерации, передачи и потребления энергии.

Ввиду того, что энергетика является фундаментальной отраслью экономики, она должна уметь справляться с текущими вызовами, среди которых можно выделить рост энергопотребления, высокие требования к качеству и надёжности энергоснабжения.

В таблице 1 приведены данные по энергопотреблению ЕЭС России.

Таблица 1. Энергопотребление ЕЭС России по годам

Энерго-система	Потребление электроэнергии, млрд кВт-ч			Абс. откл., млрд кВт-ч 2023/2022	Темп роста %	Темп прироста %
	2021	2022	2023			
ЕЭС России	1090,4	1106,3	1121,6	15,3	101,38	1,38

Анализ данных Таблица 1 показывает, что в 2023 году энергопотребление составило 1121,6 млрд кВт-ч, что на 15,3 млрд кВт-ч больше, чем в 2022 году.

Процесс цифровой трансформации бизнес-процессов обусловлен необходимостью усовершенствования системы управления энергоэффективностью. Одним из главных направлений изменения бизнес-процессов выступает модернизация производственных мощностей, внедрение информационных и цифровых технологий, что позволяет совершенствовать операционный цикл производства и снизить время принятия управленческих решений.

Литература

1. **Железко, Б.А.** Инжиниринг бизнес-процессов: пособие для обучающихся по специальности 1-27 80 01 «Инженерный бизнес (по направлениям)» / Б.А. Железко, О.А. Лавренова. — Минск: БНТУ, 2021 — 102 с.

*Д.О. Охлопков, студ.;
рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ВЭС

Цифровой двойник (ЦД) представляет собой виртуальную копию физического объекта, которая может быть использована для моделирования и прогнозирования различных процессов. Целью данной работы являются обоснование актуальности данного направления в ветроэнергетике.

По результатам анализа литературы автором получена информация о том, что в случае с ветряными электростанциями (ВЭС) и станциями на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) в целом, ЦД позволяют отслеживать и анализировать работу станций в реальном времени, прогнозировать выработку энергии и снижать эксплуатационные затраты, что повышает эффективность работы энергообъектов — помогает повысить надежность и продлить срок службы оборудования за счет раннего выявления неисправностей и оптимизации графиков технического обслуживания, в результате чего можно сказать, что ЦД обеспечивают возможность оптимизации работы ВЭС [1].

Ведущие мировые игроки вроде Siemens Gamesa, GE Renewable Energy и Vestas, достаточно активно применяют ЦД для, как уже было отмечено выше, повышения эффективности работы и управления ВЭС. При этом основными целями для них являются: улучшение прогнозирования и управление производительностью, оптимизация технического обслуживания и увеличение срока службы оборудования. Кроме этого, они позволяют снизить затраты на эксплуатацию, улучшить предсказуемость выходной мощности и уменьшить количество непредвиденных простоев.

Несмотря на успешный опыт их использования за рубежом, в нашей стране ЦД внедряются на данный момент пока точно, технология находится на этапе становления, а применение сосредоточено в основном на моделировании и прогнозировании режимов работы, однако уже существуют проекты с ЦД, например, на станциях у АО «Новавинд» (Росатом), где данная компания столкнулась с высокими издержками на внедрение и отсутствием технических стандартов, которые могли бы облегчить интеграцию ЦД в существующую инфраструктуру ВЭС [1].

Таким образом, ЦД являются перспективным инструментом для повышения эффективности энергоустановок на ВИЭ, однако их развитие в РФ затруднено из-за нехватки квалифицированных специалистов в области моделирования и анализа данных, ограниченного опыта внедрения цифровых технологий в энергетике и слабого взаимодействия между разработчиками ПО и инженерами станций. Ключевые вызовы заключаются в адаптации зарубежных технологий к российским условиям, создании национальных платформ для ЦД, подготовке кадров и стимулировании внедрения технологий со стороны государства.

Литература

1. Annual RES report Annual RES report. rreda.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3DMv29> Дата обращения — 27.09.24.

С.И. Рыбалко, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НА ПРИМЕРЕ ООО «ЭНЕРГОСТАНДАРТ»

Трудовое нормирование в современных условиях приобретает особую значимость, поскольку позволяет обеспечить устойчивую производительность и конкурентоспособность компании. В условиях технологических изменений в энергетике важно выявить и внедрить эффективные подходы к нормированию труда, ориентированные на экономическую целесообразность и оптимизацию ресурсов [1].

Наиболее актуальным становится анализ методов и подходов, позволяющих повысить точность технико-экономических расчетов в процессе нормирования труда. Это требует комплексного подхода, который учитывает, как внутренние особенности компании, так и передовой мировой опыт в энергетической отрасли.

ООО «ЭНЕРГОСТАНДАРТ» — действующая компания, занимающаяся поставкой энергооборудования, электромонтажными и пуско-наладочными работами, разработкой программного обеспечения для автоматизированных систем управления технологическими процессами [2].

Изучение нормирования труда опирается на трудовые нормативы, должностные инструкции, отчетность о производительности труда, отчетность по охране труда, методики расчета трудовых норм, работы по управлению производительностью.

Основным инструментом достижения высокой точности в нормировании труда на примере ООО «ЭНЕРГОСТАНДАРТ» можно считать применение технологий цифровизации и автоматизации, что соответствует мировым требованиям рынка. Это позволяет компании повышать качество управления ресурсами, оптимизировать производственные процессы и улучшать контроль за производительностью труда. Создание единой цифровой платформы для учета трудовых затрат и автоматического расчета норм труда стало бы важным шагом для компании на пути к построению устойчивой конкурентной позиции на рынке.

В будущем исследование будет направлено на разработку системы нормирования труда в компании, что позволит повысить рентабельность и обеспечить стабильный рост.

Литература

1. Организация и нормирование труда: учебное пособие / А.Ю. Смирнов, Л.Н. Козлова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Юрайт, 2021. — 412 с.
2. Официальный сайт компании ООО «Энергостандарт» [Электронный ресурс]. — URL: <https://checko.ru/company/ehnergostandart-1077759494670?ysclid=ly7gx0lft768675923> (дата обращения: 10.10.2024).

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЧНЫЕ СТАНЦИИ В РОССИИ

С учетом глобальных изменений в климатической политике и перехода к устойчивому развитию, развитие сети электрических заправочных станций в России становится крайне важным и необходимым. Отсутствие зарядных станций, станций быстрой подзарядки электромобилей являются основной проблемой развития рынка современного, экологичного вида транспорта.

Объектом данного исследования является электрические заправочные станции, их инфраструктура, технологии, экономические и правовые аспекты.

Предметом исследования выступают экономические факторы и механизмы, влияющие на привлечение инвестиций в инфраструктуру.

Целью работы является анализ и выявление перспектив привлечения экономических инвестиций в развитие электрических станций, а также формирование рекомендаций для повышения инвестиционной привлекательности данного сектора.

К 2030 году в России планируется установить 144 тыс. зарядных станций, 60% из которых медленный электрочарядные станции. Для этого формируются ряд стимулирующих мер для частного бизнеса, за счет которого планируется финансирование проектов создания зарядных станций [1].

На данный момент, полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что данную отрасль можно считать перспективной и экономически-привлекательной. Каждый год количество электромобилей в России увеличивается на примерно на 50% по сравнению с предыдущим годом, что является очень высоким показателем

В продолжении исследования планируется экономическая оценка инвестиций в ЭЗС, а также разработка механизма возврата инвестиций В ЭЗС.

Литература

1. **Распоряжение правительства РФ №2290-р от 23.08.2021 г.** «Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 года».

К.Э. Синякова, студ.;
рук. Е.И. Рукина, ст. преп., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «РУСГИДРО»

Цифровизация — это процесс применения различными организациями и компаниями цифровых технологий, которые обеспечивают повышение эффективности и результативности, сокращая издержки. При внедрении цифровых технологий предприятия могут «получить» как экономические, так и социальные выгоды. В цифровизации выделяют пять этапов, последним из которых является цифровая экосистема.

Цифровая экосистема — это система, в которой государство, общество, предприятие и индивидуумы работают в едином информационном пространстве и абсолютно все понимают степень своей ответственности.

При традиционной модели сотрудничества основными фокус на внутренние ключевые компетенции, субъект окружения разграничен по ролям. При сотрудничестве в цифровой экосистеме фокус направлен на внешнее взаимодействие, интеллектуальную собственность и целью является интеграция smart-решений, роли субъектов окружения могут совпадать.

Объектом исследования выступает ПАО «РусГидро» — российская энергетическая компания, лидер в производстве энергии на базе возобновляемых источников. На Таблица 2 можно увидеть значения основных показателей, которые изменились из-за внедрения цифровых технологий [14].

Таблица 1. Основные показатели цифровой трансформации

Наименование показателя	2023 г.	2024 г.	Прогноз до 2030 г.
Снижение потерь электрической энергии за счёт цифровых технологий	1%	3%	5%
Кол-во работников на опасном производстве, оснащенных цифровыми устройствами чел.	1519	2130	15 591
Рост ЕВИТДА за счет цифровой трансформации, %	3	5	7

По итогам анализа основных показателей видно, что основной показатель ЕВИТДА за счёт цифровой трансформации в 2024 г. вырос на 2%, что доказывает развитие предприятия.

Литература

1. **Электронный ресурс:** о компании ПАО «РусГидро» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://rushydro.ru>

Е.Р. Карпова, студ.; рук. Д.А. Фрей, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ АКТИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (АЭК)

В настоящее время все более актуальной становится необходимость описания бизнес-процессов. Построение процессных моделей позволяет понять ход выполнения задач и взаимодействия между отделами и оптимизировать процессы, улучшить качество продукции или услуг, снизить затраты и повысить эффективность работы организации в целом. Важность исследования состоит в анализе ключевых аспектов разработки бизнес-процессов, способов создания моделей процессов и инструментов для оптимизации управления процессами в организации.

Наиболее важными для эффективности управления процессами являются: прогнозирование и поддержание баланса спроса и предложения по электроэнергии и мощности в АЭК, формирование и реализация стратегии взаимодействия с внешней средой. Предлагается схема (рисунок 1), описывающая бизнес-процессы АЭК (который состоит в том числе из собственной генерации, сетевой инфраструктуры и промышленного потребителя), позволяющая снизить затраты участников АЭК.



Рис. 1. Оптимизированная модель деятельности АЭК

Такой алгоритм демонстрирует инновационный подход к снижению затрат на энергоснабжение потребителей, обеспечивает баланс мощности и эффективное управление АЭК как субъектом хозяйственной деятельности.

Литература

1. Кузьмин П.С. Обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей — 2021;12(4):306–321.

М.С. Менцов, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОФИСНОГО ПЕРСОНАЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ РФ

Территория России поделена на 11 часовых поясов, вследствие этого существует некоторый лаг по времени работы персонала компаний, имеющих филиалы по всей территории РФ. Поэтому для функционирования крупных энергетических компаний необходимо осуществлять организацию деятельности некоторых групп персонала: офисных специалистов и технических исполнителей [1] — с учётом тех результатов, что получены в других филиалах, особенно при выполнении сквозных задач, поскольку их деятельность может быть взаимосвязана вне зависимости от расстояния.

Учитывая разницу во времени выполнения некоторых работ, авторами была рассмотрена возможность оптимизации численности персонала за счет перераспределения части задач, выполняемых после окончания рабочего дня, другим сотрудникам, которые выполняют подобные задачи, но в другом регионе с иным часовым поясом.

Для оценки возможности высвобождения трудовых ресурсов необходимо решить задачу перераспределения трудовых функций между персоналом, работающим по схожему профилю. Это может быть обеспечено внедрением цифровых технологий в офисной сфере [2], которое уже осуществлено многими компаниями, в том числе и энергетическими («Газпром», «Росатом», «Лукойл»), во время пандемии COVID-19 — т. е. часть мероприятий по перераспределению трудовых функций, а конкретно создание определенной цифровой среды, уже выполнена.

В результате исследования авторами получена зависимость высвобождаемого труда от уровня организации офисной деятельности.

Для оценки доли снижения численности персонала необходимо собрать дополнительную статистику и провести анализ эффективности используемого в рабочем процессе времени, что будет являться следующим этапом исследования.

Литература

1. **Манаев В.В., Дирша Е.В.** Экономика труда: Учебное пособие для студентов всех форм обучения экономических направлений / Рубцовский индустриальный институт. — Рубцовск, 2020. — 77 с.
2. **Васильева Е.В., Долганова О.И.** ОФИС 4.0 — ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННОГО ОФИСА, АКТУАЛЬНЫЕ В ЭПОХУ ПОСТКОВИДА // Вестник ГУУ. 2021. № 8.

А.А. Герасимова, студ.;
рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В настоящее время усложнение режимов работы Единой энергетической системы России создает все больше предпосылок к применению электропередач постоянного тока, и, соответственно, возникает необходимость в разработке методических подходов к технико-экономическому обоснованию применения электропередач и вставок постоянного тока как альтернативы строительству генерирующих источников и развития сети электропередач переменного тока.

Несмотря на широкое распространение данной технологии в мире, на сегодняшний день в ЕЭС России отсутствуют действующие проекты электропередачи на основе постоянного тока. При этом в проекте Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики на 2025–2030 гг. содержатся мероприятия по строительству воздушных линий электропередачи постоянного тока [1].

В работе был проведен обзор применяемых за рубежом методик оценки капитальных затрат и экономической эффективности проектов электропередачи на основе постоянного тока [2]. Также, был проведен анализ применяемых в России подходов к оценке капитальных затрат таких проектов и было выявлено, что особенности реализации проектов электропередач постоянного тока, связанные с очень низкой степенью освоения данной технологии в нашей стране, делают невозможным разработку универсальной методики оценки как капитальных затрат, так и экономической эффективности подобных проектов. Единственной возможностью является оценка экономических затрат проектов на основе постоянного тока с использованием стоимостных показателей объектов-аналогов, применяемых в международной практике. Такой подход дает лишь приблизительную оценку необходимых вложений и существенно усложняет процесс экономического обоснования таких проектов.

В случае дальнейшего рассмотрения применения данной технологии в ЕЭС России необходимо разработка и стандартизация технических и экономических показателей строительства подобных объектов.

Литература

1. Проект СиПР ЕЭС России 2025–2030 гг. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.so-ups.ru/future-planning/public-discussion-sipr/public-discussion-sipr-2025-2030/>
2. ECONOMIC ASSESSMENT OF HVDC LINKS [Электронный ресурс]. — URL: 186 Economic assessment of HVDC links.pdf

К.А. Гурьянова, студ.; рук. Д.А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДА ТАРИФНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТСО

С 1 сентября 2024 года вступили в силу поправки в закон «Об электроэнергетике», предусмотренные ФЗ от 13.07.2024 №185–ФЗ [1]. В соответствии с данным документом, в каждом регионе РФ будут созданы системообразующие территориальные сетевые организации (СТСО). Внесённые преобразования нацелены на укрупнение сетевых компаний, то есть уменьшение количества территориальных сетевых организаций (ТСО) и их последующая консолидация в СТСО. Однако метод тарифного регулирования и составляющая инвестиций в структуре необходимой валовой выручки (НВВ) у консолидируемых сетевых организаций и СТСО отличаются (рисунок 1), поэтому необходимо определить в условиях какого метода тарифного регулирования задача формирования инвестиционных программ (ИП) объединенной компании будет давать максимальный экономический эффект.

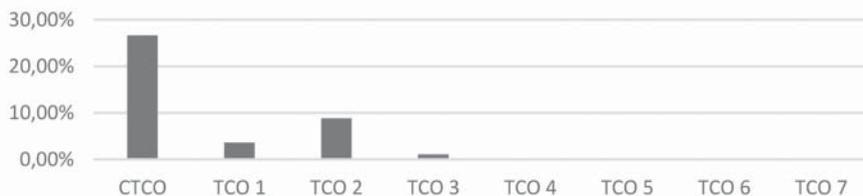


Рис. 1. Инвестиционная составляющая в структуре НВВ

В работе рассматривается Московская область. Регулирование деятельности СТСО осуществляется методом долгосрочной индексации необходимой валовой выручки, плановая НВВ на 2024 г. составила 66 163 млн. руб., а составляющая ИП 26,6%. Для определения более эффективного метода регулирования в работе была пересчитана плановая НВВ методом доходности инвестиционного капитала (НВВ = 67 658 млн. руб.; составляющая ИП = 28,7%) и методом экономически обоснованных затрат (НВВ = 68 524 млн. руб.; составляющая ИП = 22,9%). Таким образом из расчётов видно, что при использовании метода доходности инвестиционного капитала средств на выполнение ИПР направляется больше, однако это влечёт за собой увеличение НВВ.

Литература

1. **ФЗ от 13.07.2024 №185–ФЗ:** [электронный ресурс] — <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202407130009>

А.В. Чуева, студ.; рук. Ю.Н. Харитонова, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ В ПРОЦЕССЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ В ПЕРИОД САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

Цифровая трансформация является одной из самых важных и актуальных тем в энергетической отрасли. Она активно развивается для повышения эффективности, безопасности, оптимизации процессов производства с минимизацией затрат. По этой причине большинство крупных комплексов ищут пути развития «цифры» на своем производстве, чтобы выйти на новый уровень и улучшить показатели.

Рассматривая работу предприятий в целом, можно заметить, что в них уже присутствуют технологии, которые направлены на оптимизацию работы: программные обеспечения, искусственный интеллект, инструменты для аналитики и хранения большого количества данных. В общем понимании цифровизация нефтяной отрасли подразумевает внедрение цифровых технологий именно на каждом этапе производственного процесса — от разведки до транспортировки [1].

Проанализировав вышеперечисленные факторы, можно сделать вывод о том, что цифровая трансформация — это путь к совершенствованию через сокращение сроков, снижение затрат, повышение качества, обслуживания и обеспечение лучшей безопасности без потерь.

Тем не менее проблемы существуют, и одна из них — это технологическая зависимость в период санкционного давления. Компании сталкиваются с нехваткой оборудования для глубокой переработки и разведки месторождений. Это отрицательно сказывается на поиске новых бассейнов для добычи. Безусловно, проблем с импортозамещением всё еще много, но уже идет процесс внедрения отечественного оборудования, используемого на территории РФ, его доля за первое полугодие 2024 года составляет примерно 70%, что на 5% больше с конца 2023 года [1].

Таким образом, для снижения технологической зависимости в условиях цифровизации и санкционного давления необходимо: — диверсифицировать производство, это поможет уменьшить зависимость от одного рынка; — инвестировать в инновационное развитие компании и использовать меры государственной поддержки.

Литература

1. Газета «Ведомости» [vedomosti.ru](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2024/04/11/rossiiskaya-neftegazovaya-otrasl-vse-bolshe-sifrovivaetsya-i-eto-horosho-dlya-vseh) [Электронный ресурс]. URL: https://www.vedomosti.ru/press_releases/2024/04/11/rossiiskaya-neftegazovaya-otrasl-vse-bolshe-sifrovivaetsya-i-eto-horosho-dlya-vseh Дата обращения — 21.11.24.

К.И. Корчагина, бак.; рук. И.В. Харчева, к.т.э., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ КАДРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

Важнейшим направлением деятельности любой организации в нашей стране является система функционирования кадрового делопроизводства. Теоретическая значимость данной работы заключается в выработке рекомендаций по совершенствованию системы организации и управления кадровым делопроизводством. Тенденции современного мира подталкивают руководителей задуматься об оптимизации бизнес-процессов, особенно в сфере бумажного документооборота. Проведенное исследование подтверждает, что организации необходимо уделять серьезное внимание кадровому документообороту для предотвращения трудовых споров и избежания административных и налоговых санкций. [1]

Авторами проведен анализ эффективности внедрения автоматизационных систем, что позволяет сократить временные затраты на обработку кадровых документов, повысить уровень безопасности и доступности информации. Считаем, что в рамках развития эффективной системы управления персоналом и оптимизации кадровой работы необходимо организовать общий центр обслуживания (ОЦО) на базе системы «БОСС-Кадровик». Это будет представлять собой организационную модель, при которой часть значимых, но непрофильных бизнес-процессов организации, таких как — движение персонала, управление затратами на персонал — сосредоточивается на отдельном подразделении. Рекомендованное мероприятие поможет оптимизировать работу департамента по управлению персоналом, снизив его трудоемкость. Методология исследования основывается на анализе существующих стандартов ГОСТ и практического опыта внедрения автоматизации в кадровом делопроизводстве. Таким образом, основной ролью кадрового электронного документооборота служит значительное ускорение процессов управления персоналом и позволяет организациям снизить затраты, а также повысить безопасность данных.

Литература

1. **Рогожин М.В. и др.** Делопроизводство в кадровой службе, 2016.

А.А. Апарцев, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКА РАБОЧИХ СМЕН В КОМПАНИИ ПАО «РУСГИДРО»

Снижение себестоимости электроэнергии остается ключевой задачей для энергетических компаний. Затраты на рабочую силу составляют значительную часть расходов, и их оптимизация может существенно повлиять на общую эффективность производства. Рассматриваемый метод снижения себестоимости заключается в оптимизации графиков смен для минимизации неэффективного рабочего времени и переработок [1].

Проведён анализ средних графиков работы ГЭС и выявлены периоды избыточной загрузки персонала. Разработан новый график, позволяющий сократить переработки и заменить постоянных сотрудников на временный персонал на время переработок. Оптимизация графика работы позволяет компании сократить затраты на оплату труда до 10%, улучшить условия труда сотрудников и минимизировать переработки. Способ оптимизации легко масштабируется на филиалы компании и не требует серьезных инвестиций.

Рассмотрим экономию на примере филиала с численностью сменного персонала, рассчитанную на основе собранных данных [1–3]: анализируемая численность 300 человек; средняя переработка на сотрудника: 10 часов в месяц (оплачиваются сверхурочно с коэффициентом 1,5); средняя почасовая ставка: 300 руб.

Тогда ежемесячные затраты на переработки составят: $300 \times 10 \times 300 \times 1,5 = 1,35$ млн. руб. Оптимизация графика позволяет сократить переработки на 80%: $1,35 \times 0,8 = 1,08$ млн. руб. экономии в месяц. Годовая экономия составит $1,08 \times 12 = 12,96$ млн. руб., что снижает затраты на рабочую силу примерно на 5%. Таким образом, в ходе исследования были выявлены резервы снижения затрат на себестоимость электроэнергии. Полученные рекомендации можно использовать для снижения себестоимости затрат на ГЭС.

Литература

1. **Рекомендации по организации рабочего времени** в энергетическом секторе. [Электронный ресурс], URL: <https://epam.ru/storage/files/documents/insights/4ec373fa86997.pdf> (дата обращения 25.11.24).
2. **Годовой отчет ПАО «РусГидро» за 2023 год**. [Электронный ресурс], URL: [rushydro.ru/investors/disclosure/reports/annual-reports/](https://investors/disclosure/reports/annual-reports/) (дата обращения 25.11.24).
3. **Статистические данные** о средней заработной плате в отрасли. [Электронный ресурс], URL: <https://energybase.ru/generation/rushydro/salaries?ysclid=m3x4b1u72y797066495> (дата обращения 25.11.24).

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 42

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

*Я.А. Горбунова, студ.; В.Д. Гайдаенко, асп.;
рук. В.Д. Локтионов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)*

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ КОРПУСА РУ ВВЭР НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНОЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ КОРПУСА РЕАКТОРА ПРИ СТРАТИФИКАЦИИ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ

Представлен анализ влияния условий охлаждения корпуса РУ ВВЭР-1000 на величину остаточной (в результате оплавления) толщины стенки корпуса реактора в условиях тяжёлой аварии (ТА) и формирования двухслойной стратифицированной ванны расплава кориума в корпусе РУ. Величина остаточной толщины стенки корпуса РУ является важным параметром, который определяет целостность и несущую способность корпуса в условиях ТА.

Расчётный анализ теплового состояния расплава и корпуса РУ выполнялся с помощью разработанной программы «POOL-Q3», в которой используются модифицированные [1] соотношения для чисел Нуссельта для боковой и нижней поверхностей слоя стали, расположенного над оксидной тепловыделяющей фазой расплава. Рассматривался ряд различных сценариев ТА, отличающихся как условиями теплообмена на верхней поверхности ванны расплава и на внешней поверхности корпуса РУ, так и размерами слоя расплава стали. Анализ результатов показал значительное влияние условий охлаждения корпуса и расплава кориума на остаточную толщину стенки корпуса. В зависимости от режимов внешнего охлаждения корпуса и поверхности расплава остаточная толщина стенки корпуса варьировалась от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Моделирование теплового состояния ванны расплава и корпуса РУ проводилось с использованием граничных условий 3-о рода на внешней поверхности корпуса и верхней поверхности расплава. Также, для ряда рассмотренных сценариев ТА проводилось CFD моделирование кодом “ANES” теплового состояния верхнего слоя расплавленной стали, показавшее удовлетворительное соответствие полученных результатов с данными, полученными на основе использования программы «POOL-Q3». Для проверки полученных результатов является необходимым постановка и проведение соответствующих экспериментальных исследований.

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.

А.С. Никулин, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА НАД ПОГРУЖЕННЫМ ДЫРЧАТЫМ ЛИСТОМ

В настоящее время для практического определения влажности пара в парогенераторах используются полуэмпирические корреляции, разработанные на основе имеющихся экспериментальных данных [1]. Несмотря на наличие корреляций необходимо также разрабатывать модели гравитационной сепарации на основе полностью механистического подхода («из первых принципов»). Основные неопределённости при разработке подобной модели сепарации связаны, в первую очередь, с параметрами капель, образующихся на зеркале испарения: диаметр капли и её начальная скорость.

Для исследования гидродинамики двухфазного потока вблизи погруженного дырчатого листа (ПДЛ) была сооружена экспериментальная установка. Для расчетного моделирования был выбран эксперимент с расходом воздуха 30 л/мин. и ПДЛ с четырьмя симметрично расположенными отверстиями, что позволило анализировать процессы лишь в одной четвертой части установки. Расчетная область представляла собой параллелепипед, имеющий размеры 345×150×300 мм. В начальный момент времени эта область была заполнена водой на высоту 60 мм, над водой находился воздух. В нижней части расчетной области располагается круглое отверстие диаметром 13 мм, через которое подается воздух со скоростью 0.94 м/с. Для моделирования применялся CFD код OpenFoam [2]. Сравнение основных расчетных и опытных приведено в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные и расчетные параметры

	Размер пузырей, мм	Частота образования пузырей/струй, шт./с	Размер водяных капель/струй, мм
Эксперимент	25–33	6–8	2–20/30–65
OpenFOAM	31–36	9	3–17/37–85

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и применение программного продукта для моделирования теплогидравлических процессов в горизонтальном парогенераторе для АЭС с ВВЭР» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. Кружилин Г.Н. Зависимость допустимой нагрузки парового объема котла от давления // Известия АН СССР. Отд. техн. наук. 1951. № 7. С.1106–1114.
2. Официальный сайт OpenFOAM: <https://www.openfoam.org/> (дата обращения 21.11.2024).

*Д.Д. Курицин, асп.; Д.С. Николаев, студ.;
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

ГИДРОДИНАМИКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА

В рамках развития российской энергетики разрабатывается проект высоко-температурного газоохлаждаемого реактора с гелиевым теплоносителем. Одной из ключевых задач проектирования является обоснование теплотехнической надёжности новой активной зоны. Основное внимание при этом необходимо уделять анализу гидродинамики теплоносителя, учитывая перераспределение потока гелия между каналами охлаждения, зазорами между тепловыделяющими сборками (ТВС) и каналом поглощающего стержня системы управления и защиты (ПС СУЗ), поскольку эти потоки оказывают влияние на безопасность реакторной установки [1].

Авторами были созданы исследовательский стенд и экспериментальная модель колонны ТВС в масштабе 1:1, в горизонтальной компоновке. Длина модели составляет 10600 мм, размер «под ключ» — 360 мм. Внутри модели располагался имитатор ПС СУЗ. Для моделирования байпасного течения теплоносителя был предусмотрен вертикальный зазор между корпусом модели и блоками-имитаторами ТВС. В качестве рабочей среды выбран воздух. Исследования проводились при трёх положениях ПС СУЗ и при критерии $Re = 26900$, что соответствует температуре гелия 330°C.

В результате было определено, что положение ПС СУЗ в модели незначительно влияет на расход воздуха в вертикальном зазоре. Доля расхода в зазоре составляет около 3–4% от общего расхода через модель. Расход теплоносителя через канал ПС СУЗ также мало зависит от положения стержня. Доля расхода воздуха от общего на входе канала ПС СУЗ составляет 16–18%, с постепенным снижением до 6% в дроссельном устройстве. Анализ данных показал, что снижение расхода в канале СУЗ не вызывает пропорционального увеличения потока в зазоре, что указывает на утечки через межблочные зазоры в охлаждающие каналы ТВС.

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2024-0003).

Литература

1. **Фатеев С.А., Петрунин В.В., Кодочигов Г.Н., Маров И.В.** Развитие технологий атомно-водородной энергетики в госкорпорации «РОСАТОМ» // Атомная энергия. — 2022. — т. 133, вып. 5-6. — С. 243–250.

*А.С. Сахаров, студ.; рук. Р.З. Аминов, д.т.н., проф.,
рук. М.В. Гариевский, к.т.н. (СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Саратов)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ АЭС С ВВЭР-1200 НА ОСНОВЕ ЭКОНОМАЙЗЕРНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ С УСТАНОВКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТУРБИНЫ

Повышение мощности выше номинальной существующих АЭС с энергоблоками типа ВВЭР является стратегической задачей, направленной на повышение общей эффективности энергетических мощностей страны. Такой подход требует значительно меньше капиталовложений по сравнению со строительством новых станций. Кроме того, повышение мощности АЭС может привести к снижению использования органического топлива, что способствует переходу к углеродно-нейтральной энергетике.

Предложен способ увеличения мощности АЭС путем установки дополнительного теплообменника в первый контур после парогенератора [1]. В этом теплообменнике теплоноситель первого контура передает тепло воде второго контура, повышая ее температуру на входе в парогенератор. При этом средняя температура теплоносителя в активной зоне снижается несмотря на увеличение тепловой мощности реактора. Для увеличения выработки электроэнергии в работе предложена установка дополнительной турбины без регенерации (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчета повышения мощности энергоблока АЭС с ВВЭР-1200 на основе экономайзерного подогрева питательной воды

Параметры	Температура питательной воды °С		
	225	245	265
Тепловая мощность реактора, МВт(т)	3200	3319	3521
Мощность основной турбины, МВт	1196,00	1186,69	1171,56
Мощность дополнительной турбины, МВт	–	46,48	120,32
Суммарная мощность, МВт	1196,00	1233,17	1291,88
Суммарное повышение мощности, МВт	–	37,17	95,88
Инвестиции в проект, млн. руб.	–	3110,26	7288,89
Дисконтированный срок окупаемости, лет	–	14,3	17,4

Выполнен конструктивный расчет теплообменника: определены его габаритные размеры, количество труб в трубной решетке и дополнительное гидравлическое сопротивление в первом контуре. Также проведен расчет технико-экономических показателей проекта (табл. 1).

Литература

1. Пат. 2449391 РФ. Способ повышения мощности двухконтурного атомного энергоблока: № 2010124798/07: заявл. 16.06.2010; опубл. 27.04.2012 / Р.З. Аминов, И.Н. Махотин.

И.А. Прохоров, асп.; рук. С.О. Иванов, доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОСТИ РЕАКТОРОВ РБМК

Паровой коэффициент реактивности (ПКР) является одной из наиболее важных нейтронно-физических характеристик реакторов РБМК-1000, влияющих на безопасность реакторной установки. В связи с этим к контролю величины ПКР предъявляются высокие требования.

Оценку ПКР выполняют методом косвенных измерений, основанном на измерениях реактивности и технологических параметров (ТП) реактора в опытах с возмущением расхода питательной воды (РПВ). При обработке результатов опытов с возмущением РПВ используются значения ТП в четырех временных срезах [1]. Временные срезы фиксируются путем экспертной расстановки на графиках ТП четырех «опорных» временных меток (ВМ). Поскольку регистрация ТП, необходимых для вычисления ПКР, ведется в условиях наличия шумовой составляющей, выбор положения временных меток может существенно влиять на точность оценки ПКР в опыте.

Рассмотрен подход, позволяющий формализовать обработку опыта с возмущением РПВ, который получил название «метод множественной расстановки».

Метод реализован следующим образом:

- устанавливается «опорная» четверка временных меток;
- относительно «опорных» меток генерируются интервалы возможного положения меток (интервалы множественной расстановки);
- для всех комбинаций меток в интервалах вычисляется набор оценок ПКР в опыте с возмущением РПВ, строится распределение оценок;
- в качестве оценки ПКР в опыте принимается математическое ожидание (МО) полученного распределения вероятности оценок, а комбинация «расчётных» меток, наилучшим образом соответствующая МО, фиксируется и используется для вычисления итоговой оценки ПКР.

Применение метода множественной расстановки позволило более чем в 3 раза снизить стандартную неопределенность контроля величины ПКР, обусловленную неоднозначностью расстановки временных меток:

- при использовании «опорных» временных меток — $\pm 0,07 \beta_{эф}$;
- при использовании «расчётных» временных меток — $\pm 0,02 \beta_{эф}$.

Литература

1. Прохоров И.А., Моисеев И.Ф. и др. Неопределенности обработки опытов по взвешиванию участка стержней автоматического регулятора при измерении парового коэффициента реактивности на реакторе РБМК // Глобальная энергия. 2024. Т. 30, № 1. С. 69–81.

*С.Ю. Воробьева, студ.;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА РАДИОЛИТИЧЕСКОГО ВОДОРОДА В РЕАКТОРАХ ТИПА ВВЭР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В оборудовании первого контура реакторных установок (РУ) типа ВВЭР может выделяться водород вследствие процесса радиолиза теплоносителя и создавать взрывоопасные смеси.

В докладе рассматривается стояночный режим РУ ВВЭР, при котором в элементах первого контура могут образовываться парогазовые объемы.

Расчеты проводились с использованием кодов вычислительной гидродинамики (CFD). Для оценки точности использовалась новая технология по методу GCI (grid convergence index) — индекс сеточной сходимости.

Поступление водорода в парогазовые объемы с поверхности теплоносителя обуславливается коэффициентом массоотдачи, зависящим от показателей водной среды [1]. В докладе представлена методика его расчета с использованием параметров турбулентности сначала на примере модели реактора. На основе полученного коэффициента массоотдачи и с применением метода GCI для модели реактора была исследована сеточная сходимость и определен оптимальный размер расчетной сетки.

Также в докладе рассматривается CFD-модель корпуса ГЦНА в стояночном режиме. При варьировании температур как граничного условия для части корпуса, заполненного водой, представлены результаты расчета расхода водорода. Для одного из полученных значений расхода в парогазовой части ГЦНА для различных граничных условий представлено распределение водорода в объеме.

Для полных расчетов на основе параметров, определяемых регламентом процедур планово-предупредительных ремонтов на АЭС, необходима модель сложной зависимости показателя массоотдачи от динамики граничных условий. Для этого предлагается внедрить новый подход на основе метамоделей с использованием нейронных сетей. В докладе приводятся результаты работ по созданию базы данных для настройки нейронной сети, а также алгоритм ее использования в CFD-моделях.

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.

*И.Ш. Кускеев, студ., В.В. Семишин, соиск.;
рук. О.Ю. Кавун, д.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Была выполнена разработка модели активной зоны реакторной установки типа ВВЭР средней мощности (600 МВт) в двух исполнениях, со спектральным регулированием и жидкостным борным регулированием в течение топливной кампании. Топливная кампания составила 650 суток. Активная зона формировалась из тепловыделяющих сборок (ТВС) нескольких типов с тепловыделяющими элементами содержащие гадолиний. ТВС имели следующие размеры: шаг 236 мм, размер под ключ 234 мм, число тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) 241, шаг ТВЭЛ 11,64 мм.

В активной зоне со спектральным регулированием для изменения реактивности активной зоны осуществляется изменение водно-уранового соотношения с использованием подвижных вытеснителей. Вытеснители выполнены в виде 6 тепловыделяющих элементов Ø8,6 мм из обедненного урана, находящиеся в оболочке из сплава Э110. Первую половину кампании они были погружены в активную зону и уран-водное соотношение составляло 1,534, после извлечения вытеснителей 2,978.

Двухгрупповые библиотеки нейтронно-физических сечений для исследуемых топливных загрузок, используемые в данной работе, были подготовлены по программной среде Сапфир-95.1. Связанный трехмерный нейтронно-физический и теплогидравлический расчет активной зоны выполнялся в нейтронно-физическом модуле Десна.

Полученные результаты расчета топливных кампаний для различных активных зон (со спектральным и борным регулированием) позволяют сделать вывод, что использование принципов управления реактивностью за счет спектрального регулирования позволяет уменьшить критическую концентрацию борной кислоты на начало кампании за счёт снижения сечения деления нечетных делящихся изотопов в начале кампании и увеличение захвата ядром U^{238} и, в перспективе, отказаться от борной компенсации реактивности при условии увеличения числа ТВС с вытеснителями, участвующих в компенсации реактивности.

*С.Р. Зверев, Е.В. Капунова,
К.А. Матвеева, студ.; В.В. Семишин, соиск.;*
рук. О.Ю. Кавун, д.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ САПФИР-РФ И ДЕСНА-9 ДЛЯ РАСЧЕТОВ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

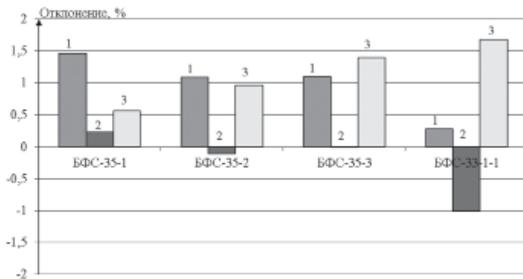


Рис. 1. Относительное отклонение результатов расчетов коэффициента размножения от экспериментальных значений: 1 — MCNP, 2 — KENO, 3 — САПФИР-РФ

Верификация программных средств (ПС), применяемых для нейтронно-физических расчетов активных зон ядерных реакторов на быстрых нейтронах является актуальной задачей. В данной работе приведены результаты расчетов ячеек реакторов на быстрых нейтронах с использованием ПС САПФИР-РФ и Десна-9, являющейся дальнейшим развитием двухгруппового диффузионного ПС Десна-7.

Оценка возможности использования ПС САПФИР-РФ для расчетов нейтронно-физических параметров реакторов на быстрых нейтронах на основании экспериментов по расчету коэффициента размножения в быстром спектре нейтронов [1] показала хорошую согласованность результатов (рис.1) с результатами расчетов по ПС MCNP и KENO [2]. Максимальное отклонение составляет 1,6%.

Верификация ПС Десна-9 с 8-ми групповой библиотечкой нейтронно-физических сечений, подготовленной по ПС САПФИР-РФ, на основании сравнения результатов расчета ячейки твэла с быстрым спектром нейтронов показала, что максимальное отклонение в расчете коэффициента размножения составляет 0,5%.

Литература

1. K-infinity Experiments for U in Fast Neutron Spectra: Measurements with Enriched Uranium or Plutonium Mixed with Depleted Uranium (BFS-35, BFS-33, BFS-38, BFS-31, and BFS-42 assemblies). NEA/NSC/DOC(95)03/VI. VI, MIX-MISC-FAST-001
2. G.W. McKinney, J.C. Wagner, J.E. Sisolak (1993), MCNP/KENO Criticality Comparison https://www.researchgate.net/publication/301341531_MCNPKENO_Criticality_Comparison

О.О. Кулиев, студ.; рук. И.М. Солдатов, ст. преп.(НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ И ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АСММ И АС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время в развитии мировой атомной энергетики наметился тренд проектирования и сооружения атомных станций малой мощности (АСММ). АСММ — наиболее перспективное и эффективное решение для энергоснабжения труднодоступных регионов как в России, так и за ее пределами.

По классификации МАГАТЭ к АСММ относятся установки, электрическая мощность которых составляет не более 300 МВт.

Целью работы является сравнительный анализ проектных решений основных функций систем безопасности АСММ и сравнение требований к ним с требованиями для АС большой мощности.

В работе выполнен анализ классификации МАГАТЭ по типу реакторных установок для АСММ, представлены описание и анализ основных функций систем безопасности для 25 проектов АСММ с реакторными установками наземного размещения с водяным замедлителем и теплоносителем. Также выполнена анализ систем безопасности крупных АЭС с учетом 70-летнего опыта их эксплуатации.

Анализ показывает, что системы безопасности АСММ имеют существенные различия по функционалу и проектным решениям в сравнении с АЭС большой мощности. Например, локализирующие системы безопасности компании NuScale (США) представляют из себя стальной цилиндр с наружным диаметром 4,5 м и общей высотой 23,1 м, который окружает корпус реактора и погружен в бассейн реактора, что обеспечивает гарантированный пассивный отвода тепла от защитной оболочки, а для больших реакторов АЭС-2006 применяется целый ряд систем: система герметичного ограждения (контаймент), спринклерная система, система создания разрежения в наружном контайменте, система контроля концентрации и аварийного удаления водорода.

Результаты проведенного анализа позволяют дать конкретные рекомендации по проектированию систем безопасности АСММ с учетом опыта крупных АЭС.

Литература

1. ADVANCES IN SMALL MODULAR REACTOR TECHNOLOGY DEVELOPMENTS. Printed by the IAEA in Austria September 2020. — 343 p.
2. **В.П. Поваров, В.Ф. Украинцев, Д.Б. Стацура, И.Н. Гусев, П.Д. Платонов, М.Ю. Тучков.** СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС-2006. АО «Воронежская областная типография — издательство им. Е.А. Болховитинова». — Воронеж, 2020. — 540 с.

В.В. Семишин, соиск.;

рук. О.Ю. Кавун, д.т.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ С БЫСТРЫМ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассматривается концепция энергоблока с газоохлаждаемой (CO_2) реакторной установкой с реактором на быстрых нейтронах и паровой турбиной на сверхкритических параметрах К-800-240. Особенностью концепции является близкое к атмосферному давление теплоносителя в первом контуре.

Для расчетных исследований разработана компьютерная модель энергоблока и рассмотрены переходные режимы с потерей электроснабжения и переходом на пассивный отвод тепла от активной зоны, как углекислым газом, так и атмосферным воздухом при разгерметизации контура. Расчеты проводились по программному средству (ПС) Десна [1] — нейтронно-физические расчеты, ТРР [2] — теплогидравлические расчеты, МВТУ — автоматика и управление моделью, САПФИР-РФ [3] — подготовка библиотеки нейтронно-физических сечений. Расчеты показали возможность теплоотвода даже в случае охлаждения активной зоны атмосферным воздухом.

Выполнены нейтронно-физические расчеты топливных загрузок с различными видами топлива на основе природного урана и на основе плутония, выделенного из отработавшего топлива ВВЭР. Показано, что достигаемая длительность топливной кампании составляет около 10000 эфф. суток для загрузок на основе обогащенного урана и РЕМИКС топлива, и около 7000 эфф. суток для загрузок с применением отвального урана и плутония из отработавшего топлива ВВЭР.

Литература

1. **Семишин В.В., Кавун О.Ю., Алексеев Д.И.** Разработка метода решения многогруппового уравнения диффузии для расчета реакторов на быстрых нейтронах // Научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики НЕЙТРОНИКА-2024»: сборник тезисов докладов, Обнинск, 2024, с. 60.
2. **Кавун О.Ю., Куно М.Я., Фейман В.Г.** Программа «ТРР» для теплогидравлического расчета сложных теплогидравлических сетей // Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов НЕЙТРОНИКА-97: Сб. трудов семинара МАЭ РФ. Обнинск, 1998, с. 111–118.
3. **Иванов А.С., Карпов А.С.** Модернизация нейтронных библиотек и программы САПФИР_95, предназначенной для расчёта ячеек реактора. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы, вып. 1, 2018, с. 27–34.

М.Д. Погорелов, Р.В. Сумин, Т.К. Зырянова, асп.;
Н.С. Волков, соиск.; С.В. Колосов, студ.;
рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЕЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ ДВОЙНОГО ВЗАИМООБРАТНОГО ЩЕЛЕВОГО ДРОССЕЛИРОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В СВИНЕЦ-ВИСМУТОВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

В настоящее время расчёт и разработка подшипниковых узлов для главных циркуляционных насосов, работающих в среде тяжёлых жидкометаллических теплоносителей, к которым относится свинец-висмутовая эвтектика, сопряжено с рядом трудностей, обусловленных недостаточной экспериментальной обоснованностью применения уже существующих методик их проектирования [1]. Так, например, одной из проблем является несмачивание поверхности конструкционного материала, покрытого оксидной плёнкой, сплавом теплоносителя.

В целях практического обоснования применимости расчётных методик для проектирования подшипниковых узлов, работающих в условиях свинец-висмутового теплоносителя, были разработаны и испытаны на стенде ФТ-1 НГТУ модели гидростатических подшипников двойного взаимнообратного щелевого дросселирования с шестью и восемью прямоугольными камерами, а также шести-камерный подшипник с наклонными камерами.

В ходе экспериментального исследования были получены гидравлические характеристики моделей подшипников при разных частотах вращения вала-имитатора и рассчитаны безразмерные параметры, использующиеся в методике, предложенной В.А. Соболевым [2].

Анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что имеется существенное несоответствие расчётного безразмерного коэффициента расхода, и связанных с ним параметров, рекомендуемым значениям, в виду чего последние требуют корректировки. Значения параметра скорости вращения, найденные из перепада давления на моделях подшипников, будут использованы в дальнейших исследованиях при определении коэффициента безразмерной грузоподъёмности.

Литература

1. **Безносков А.В., Бокова Т.А.** Оборудование энергетических контуров с тяжёлыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике: учеб. пособие / А.В. Безносков, Т.А. Бокова; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2011. — 536 с.
2. **Синев Н.М., Удовиченко П.М.** Бессальниковые водяные насосы. Атомиздат, 1972. 494 с.

М.А. Чубаров, М.Ю. Захаров, асп.;
рук. Г.В. Тихомиров, д.ф.-м.н., проф. (НИЯУ МИФИ, Москва)

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В СВИНЦОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА

Инертные газы (ксенон, гелий, криптон), образующиеся в ядерных реакторах, существенно влияют на теплопередачу гидродинамические характеристики теплоносителя. Моделирование выделения газовых продуктов деления (ГПД) в переходных режимах при повреждении оболочки твэла традиционно базируется на кинетической модели первого порядка с использованием эмпирических коэффициентов скорости истечения. Однако эти модели имеют значительные неопределённости на ранних стадиях, до достижения равновесного давления между газом и жидкостью (порядка 1 секунды с начала процесса) [1].

Целью данной работы является демонстрация подхода к моделированию выделения ГПД в объем теплоносителя в случае повреждения оболочки твэла для определения скорости их истечения до достижения равновесного давления с использованием CFD-кодов.

В качестве расчётной модели рассматривается участок твэла реактора БРЕСТ-ОД-300 длиной 100 мм с центральным дефектом в оболочке диаметром 1 мм (рисунок 1). Моделирование осуществлялось в программном пакете «ЛОГОС» с использованием SST $k-\omega$ модели турбулентности в нестационарной постановке с шагом по времени 10^{-6} сек. В результате моделирования получены фазовые распределения газовой смеси криптона, ксенона и гелия по объему теплоносителя и оценена максимальная скорость выхода газовой смеси в теплоноситель, составляющая порядка 37 м/с.

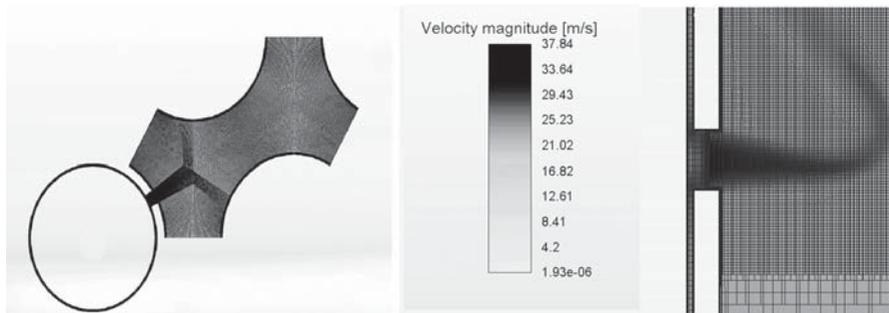


Рис. 1. Результаты моделирования выделения ГПД

Литература

1. **Dong B. et al.** CFD study on mechanisms of fission gas burst release from defective fuel rods of a typical PWR // *Annals of Nuclear Energy*. — 2020. — Т. 140.

Д.А. Макаров, студ.; рук. А.Н. Байрамов, д.т.н., проф.
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, ФИЦ «СНЦ РАН», Саратов)

МИРОВОЙ ОПЫТ ХРАНЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Для участия АЭС в регулировании суточной неравномерности электрической нагрузки при обеспечении ее базисной нагрузки необходимо использование энергоаккумулирующей установки. Одним из перспективных вариантов является водородный комплекс высокого давления [1], отвечающий большим показателям надежности в сравнении со схемой при использовании компрессоров [2]. В качестве маневренной системы хранения вырабатываемого водорода (и кислорода) возможно использование емкостей высокой прочности, поскольку прочие способы хранения представляются более инерционными. В этой связи подробно рассмотрен механизм водородной коррозии металлов, проанализирован мировой опыт по разработке различных типов емкостей хранения водорода высокого давления (рис. 1), а также рассчитаны минимальные толщины оболочек емкостей для слоев материалов, воспринимающих нагрузку.

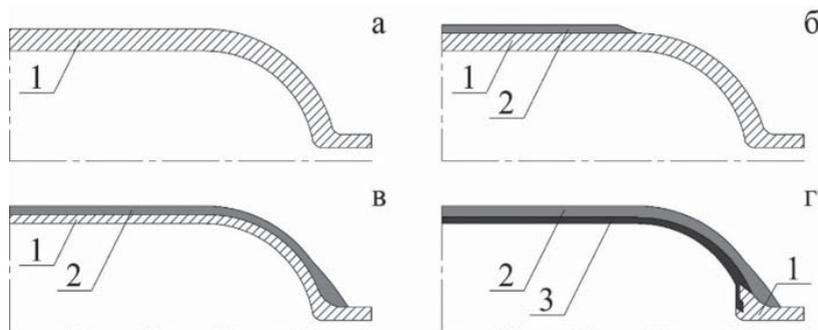


Рис. 1. Принципиальная схема емкостей хранения водорода высокого давления в разрезе: (а), (б), (в), (г) — типы I, II, III и IV соответственно;

1, 2, 3 — металлический, композитный и полимерный материалы соответственно

Согласно оценке, наименьшие толщины воспринимающего нагрузку слоя соответствуют углеродному композитному волокну Toray T700S (тип IV), для которого в исследуемом диапазоне рабочих давлений 10...80 МПа получены значения 1,5...12,2 см и 1,4...11 см соответственно для цилиндрической и сферической оболочек емкости хранения.

Литература

1. Пат. № 2821330 Российская Федерация, МПК G21D 1/00 (2006.01). Водородный комплекс на основе электролиза воды высокого давления для комбинирования с атомной станцией/ заявители и патентообладатели Байрамов А.Н., Макаров Д.А. № 2023115369; заявл. 09.06.2023; опубл. 21.06.2024 Бюл. № 18.
2. Байрамов А.Н., Макаров Д.А. Разработка и обоснование нового принципа комбинирования АЭС с водородным комплексом // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 05(422) 2024, с. 30–50.

Н.Д. Гембицкий, асп.;
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИ БАРБОТАЖЕ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В ВОДНОМ ОБЪЁМЕ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ УСЛОВИЙ

Запроектные аварии на АЭС могут сопровождаться существенным выбросом продуктов деления (ПД) в атмосферу, поэтому важной задачей является численное моделирование физических процессов, обуславливающих формирование выброса ПД.

Одним из способов снижения радиоактивного выброса является дополнение паросборных устройств баком-барботёром, что обусловлено способностью аэрозолей оседать в воде при барботаже парогазовой смеси (скруббированием). На действующих АЭС с ВВЭР подобные системы безопасности не используются, но они могут рассматриваться в качестве перспективных для новых проектов ВВЭР. Для разработки и оценки эффективности этих систем в представительных запроектных авариях требуется наличие валидированных моделей скруббирования в интегральных расчётных кодах.

Результаты валидации модели осаждения ПД при барботаже газа в российском коде СОКРАТ [1], разработанной в 2016 году, выявили необходимость ее дальнейшего развития.

В данной работе представлены результаты актуализации, программной реализации и валидации усовершенствованной модели скруббирования в пузырьковом и струйном режимах инъекции газа.

В модели скруббирования в пузырьковом режиме инъекции учтена эллипсоидальная форма пузырей, наблюдаемая в прототипных условиях сред, соответственно модифицирован расчет осаждения под влиянием совокупности механизмов: гравитационного, диффузионного, инерционного осаждения, диффузиофореза и термофореза. Обеспечена независимость эффективности очистки газа от детальности разбиения бассейна на расчетные ячейки. При разработке модели осаждения в режиме струи использованы и адаптированы особенности модели SPARC90-Jet. По результатам валидации усовершенствованной модели на данных экспериментов выявлена существенная чувствительность эффективности очистки газа к размеру пузырьков и показана необходимость более детального учета теплогидравлических параметров инъекции парогазовой смеси.

Литература

1. **Bolshov L.A. [et al.]**. Results of SOCRAT code development, validation and applications for NPP safety assessment under severe accidents // Nuclear Engineering and Design. 2019. V. 341. P. 326–345.

Е.С. Сарычев, асп. (НИУ МЭИ), м.н.с. (НИЦ «Курчатовский институт»);
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПС МАВР-ТА НА ЭКСПЕРИМЕНТАХ FALCON И MARVIKEN

Расчетные коды, такие как аттестованное ПС МАВР-ТА [1], играют важную роль в обосновании безопасности АЭС. В рамках данной работы был проведен анализ неопределенности и чувствительности к неопределенности исходных данных. ПС оценивает влияние погрешностей пространственной дискретизации, численных методов, измерений и входных расчетных данных, а также вклад неопределенностей, наиболее влияющих на результаты моделирования. Анализ был выполнен для двух экспериментов FALCON [2] и Marviken АТТ-4 [3], анализировалась осевшая масса продуктов деления (ПД). В рамках анализа проводилось варьирование параметров в пределах их экспериментальных погрешностей. Для оценки влияния изменений каждого параметра на осевшую массу ПД применялись коэффициенты ранговой корреляции Кендалла и Спирмена. Были получены стандартные отклонения и верификационные погрешности (рисунок 1), а также силы корреляционных связей (рисунок 2) различных параметров.

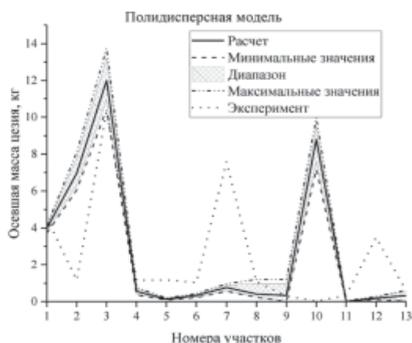


Рис. 1. Осевшая масса цезия

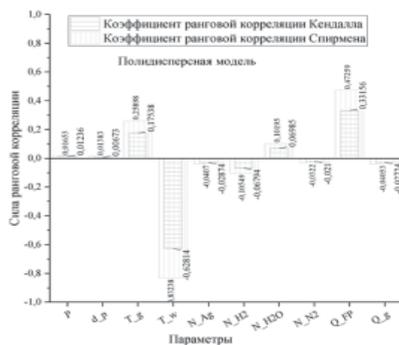


Рис. 2. Коэффициенты ранговой корреляции

Литература

1. **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.
2. **Siccama N.B.** MELCOR 1.8.1 Assessments: FALCON ISP-34 ECN-R--94-009, The Netherlands Energy Research Foundation, Petten, 1994.
3. **Kmetyk L.N.** MELCOR 1.8.1 Assessments: Marviken-V Aerosol Transport Tests ATT-2b/ ATT-4 SAND92-2243, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1993.

Е.А. Горлов, студ.; А.С. Никулин, асп.;
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВАЛИДАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА ПЛОЩАДИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Перспективный подход к описанию межфазных взаимодействий, состоит в применении уравнения переноса для площади межфазной поверхности, которое учитывает процессы коалесценции и фрагментации дисперсных образований [1]. Это уравнение дополняет основную систему уравнений сохранения массы, импульса и энергии фаз. Оно позволяет рассчитать площадь межфазной поверхности в любой точке рассматриваемого потока в произвольный момент времени без карты режимов потока, что является его несомненным преимуществом.

Цель работы состояла в валидации расчетной программы для решения уравнения переноса площади межфазной поверхности. Было выбрано два экспериментальных исследования переноса площади межфазной поверхности в водо-воздушных потоках при атмосферном давлении в вертикальном канале диаметром 50,8 мм и длиной 3 м. На трех высотных отметках выполнялись измерения объемного паросодержания, давления и размера пузырей. Проведенные расчеты показали, что отклонение от экспериментальных данных составило: по давлению 0,57% и 1,7%, по объемной доле газовой фазы 2,5% и 8,7% (рис. 1), по диаметру пузырьков 15% и 30%, соответственно. В целом, полученное совпадение можно признать удовлетворительным.

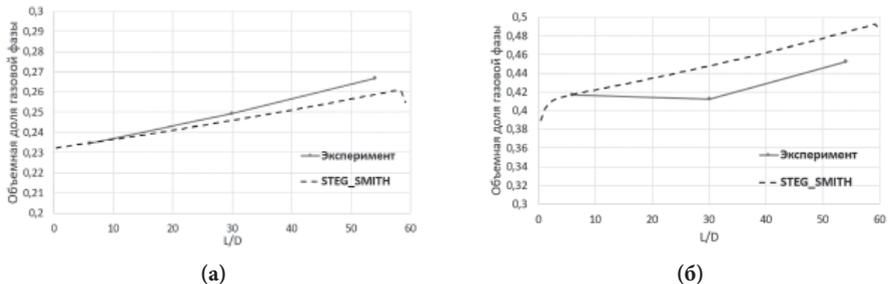


Рис. 1. Объемная доля воздуха для опытов со скоростью воздуха: (а) 0,19 м/с, (б) 3,9 м/с

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и применение программного продукта для моделирования теплогидравлических процессов в горизонтальном парогенераторе для АЭС с ВВЭР» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» по программе «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. Kim S. [et al.]. Progress in two-phase flow modeling: Interfacial area transport // Nuclear Engineering and Design. 2021. V. 373. 111019.

М.И. Ерофеев, студ.; рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДВУХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

В 80-е годы проводились теплотехнические испытания парогенераторов (ПГ) ПГВ-1000. Целью было определение концентраций примесей типа натрия в различных точках водяного объема ПГ. Вслед за этим были разработаны математические модели гидродинамических процессов и переноса примесей в рабочем теле ПГ. Первой была модель (программа CIRC+SAL), разработанная на кафедре АЭС МЭИ в начале 90-х годов [1]. В ее основе были уравнения гидростатики для элементарных объемов, которые в сумме составляли водяной объем ПГ. Выполненный ряд расчетов с этой моделью показал вполне удовлетворительное совпадение концентраций примесей с результатами теплотехнических испытаний.

Вторая российская модель (программа STEG) была создана в Электрогорском научно-исследовательском центре (ЭНИЦ) [2]. В её основе были положены 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, рассчитанные концентрации примесей хорошо совпали с результатами в теплотехнических испытаниях и с полученными по программе CIRC+SAL.

Определение гидравлических параметров и концентраций проводится программой CIRC+SAL по 2800 элементарных объемов, а расчёт программой STEG ведётся более чем по 50 000 узлов. Современные компьютеры требуют для расчета одного варианта по программе CIRC+SAL несколько секунд, по программе STEG — свыше суток. Программа STEG реализует детальные расчеты гидродинамических параметров и концентраций примесей не только в водяном объеме ПГ, но и в пространстве над ним, для принятой конструкции ПГ. Программа CIRC+SAL позволяет проводить многовариантные расчеты. Ее актуальность заключается в возможности поиска оптимальной по содержанию примесей схемы раздачи питательной воды и вывода продувки для ПГВ-1000 и ПГВ-1200.

Литература

1. **Горбуров В.И., Зорин В.М.** Моделирование на ЭВМ гидродинамики водяного объема парогенератора ПГВ-1000. // Теплоэнергетика. 1994. № 5. С. 22–29.
2. **Мелихов В.И., Мелихов О.И., Ле Т.Т.** Экспериментально-расчетные исследования гидродинамических процессов в горизонтальном парогенераторе. М.: Наука, 2022. — 213 с.

*Н.М. Сапожников, С.В. Колосов, Д.С. Шалина, студ.;
Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, асп.; Н.С. Волков, соиск.;
рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАГНИТНОГО РАСХОДОМЕРА ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРИ РАЗНЫХ КИСЛОРОДНЫХ РЕЖИМАХ

В современной России активно ведутся работы по созданию быстрых реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ). Для обеспечения стабильного функционирования любой ядерной энергетической установки требуется постоянный контроль расхода теплоносителя. Одним из методов измерения расхода жидкого металла является магнитный расходомер, принцип работы которого основан на законе электромагнитной индукции Фарадея [1].

Изменение концентрации кислорода в ТЖМТ приводит к изменению толщины оксидной пленки на материалах трубопровода. При увеличении толщины этих пленок возрастает контактное сопротивление между ТЖМТ и конструкционным материалом.

На экспериментальном стенде ФТ-1 НГТУ со свинец-висмутовым теплоносителем было проведено исследование работы магнитного расходомера при изменении термодинамической активности кислорода (ТДА). В ходе эксперимента изменение расхода теплоносителя производилось объемным методом.

Разность потенциалов, возникающая при течении теплоносителя в магнитном поле, снималась с помощью электродов, приваренных к наружной стенке трубопровода.

ТДА варьировалась от $a = 10^0$ до $a = 10^{-5}$. Концентрация кислорода регулировалась путём подачи водорода. Контроль ТДА в теплоносителе осуществлялся с помощью ДАК конструкции ФЭИ. Экспериментально установлен оптимальный диапазон ТДА от $a = 10^{-3}$ до $a = 10^{-4}$. Этот диапазон соответствует наибольшим значениям сигнала магнитного расходомера.

Представленные результаты получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2023-0005 «Особенности и специфика применения тяжелых жидкометаллических теплоносителей в реакторных установках на быстрых нейтронах»).

Литература

1. Вельт И.Д., Дьяконова Е.А., Михайлова Ю.В., Терехина Н.В. Магнитный расходомер для быстрых натриевых реакторов. // Атомная энергия. — 2017. — Т. 122. № 4. — с. 203–204.

*Н.М. Сапожников, С.В. Колосов, Д.С. Шалина, студ.;
Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, асп.; Н.С. Волков, соиск.;
рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАСС СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Сегодня в России активно разрабатываются реакторные установки с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ), такие как БРЕСТ-ОД-300, БР-1200. На сегодняшний день методики гидравлического расчета трасс, по которым циркулирует ТЖМТ, не учитывают ряд специфических особенностей ТЖМТ.

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведено экспериментальное исследование на высокотемпературном стенде ФТ-5 со свинцовым теплоносителем гидравлических характеристик трасс с ТЖМТ. Стенд включает несколько видов гидравлических сопротивлений: прямая труба, резкое сужение, плавный поворот на 45° и плавный поворот на 90° .

В ходе эксперимента получены зависимости перепада давления от скорости свинцового теплоносителя, зависимость коэффициента потерь на трение по длине от критерия Рейнольдса, а также коэффициенты местных гидравлических сопротивлений на свинце. Полученные зависимости сравнивались с экспериментом на воде.

Исследуемый диапазон по критерию Рейнольдса для воды составлял $9400 \div 29500$, для свинца $45700 \div 87300$.

Обнаружены значительные расхождения гидравлических характеристик на свинцовом и водяном теплоносителях:

- для прямой трубы падение давления для свинца ниже, чем для воды, что может быть объяснено разными режимами течения;
- для резкого сужения коэффициент гидравлического сопротивления для свинца на 27% ниже, чем для воды;
- для плавного поворота на 45° коэффициент гидравлического сопротивления для свинца на 405% выше, чем для воды;
- для плавного поворота на 90° коэффициент гидравлического сопротивления для свинца на 35% ниже, чем для воды;

Полученные результаты рекомендуется использовать при обосновании расчетных кодов, а также при создании трасс циркуляции ТЖМТ.

Представленные результаты получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2023-0005 «Особенности и специфика применения тяжелых жидкометаллических теплоносителей в реакторных установках на быстрых нейтронах»).

*И.А. Барсуков, А.А. Екименко, студ.;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ MBSE ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АЭС В РОССИИ

Процесс проектирования АЭС в России традиционно основывается на документально-ориентированных подходах с высокой трудоемкостью обработки данных. Системы проектирования зачастую фрагментированы, что усложняет анализ взаимосвязей и оперативное управление изменениями. А с учетом постепенного усложнения и совершенствования систем снижается и эффективность традиционного проектирования [1].

Методология модельно-ориентированной системной инженерии — MBSE (Model-Based Systems Engineering) заменяет традиционную документацию интегрированными моделями, которые позволяют автоматизировать процессы проектирования, улучшить взаимодействие между командами и минимизировать ошибки [2].

На международной арене MBSE успешно используется в General Electric, EDF (Électricité de France), Airbus и многих компаниях других промышленных отраслей, где отмечены сокращение времени на проектирование на 20–40% и снижение затрат на 10–20% [1, 2].

К возможным трудностям применения MBSE подхода можно отнести довольно высокие начальные затраты на ранних этапах внедрения данной методологии. Однако в долгосрочной перспективе общая рентабельность инвестиций (ROI) составляет порядка 10% от вложений в MBSE [1, 2].

Для начальной апробации в России подобная интеграция может использоваться при реализации программ по развитию атомных станций малой мощности (АСММ) и модернизации существующих объектов. Так, MBSE подход был успешно применен при проектировании системы защиты водо-водяных реакторов APR-1400, что говорит о действенности методологии и перспективах её применения и в России [1].

С учетом приведенных данных и опыта ГК «Росатом», внедрение MBSE может сыграть важную роль в укреплении позиций России на международном рынке ядерной энергетике, а также в увеличении эффективности новых проектов, включая проекты малых атомных станций.

Литература

1. **Irfan I., Steven K., Kevin A., & Caleb Tomlin.** Insights from Model-Based Systems Engineering Applications in the Nuclear Industry. — ANS Winter Conference and Expo November 12–15, 2023, Washington, D.C.
2. **Баденко В.Л.** Модельно-ориентированный системный инжиниринг для строителей: основные понятия и принципы. — СПб., 2023. — 44 с.

И.А. Прохоров, асп.; рук. С.О. Иванов, доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РЕАКТИВНОСТИ НА АЭС С РБМК

В рамках договора с Госкорпорацией (ГК) «Росатом» была разработана и аттестована методика измерения реактивности на физических и энергетических уровнях мощности на АЭС с реакторами РБМК-1000 [1].

Требования к проведению измерений в области атомной энергии установлены Приказом ГК «Росатом» № 1/10 НПА. Одно из основных требований согласно Приказу — представление результатов измерений с указанием неопределенности. Это требование обеспечивается за счет испытаний при утверждении типа средств измерений, аттестации методик выполнения измерений (МВИ), оценки и обоснования погрешности измерений.

Для аттестации МВИ были проведены анализ и обоснование составляющих неопределенности измерения реактивности на физическом (ФУМ) и энергетическом (ЭУМ) уровне мощности. Были выделены инструментальная (ИС), методическая (МС) и случайная (СС) составляющие неопределенности (см. таблица 1).

Таблица 1. Значения составляющих неопределенности измерения реактивности

Составляющие неопределенности	Значение составляющих стандартной неопределенности	
	ФУМ, %	ЭУМ, %
ИС неопределенности	1,15	2,89
МС, обусловленная неопределенностью коэффициентов коррекции сигналов детекторов	1,80	1,16
МС, обусловленная использованием уравнений точечной кинетики	2,32	2,32
МС, обусловленная использованием ограниченного числа нейтронных детекторов (НД)	3,96	1,00
МС, обусловленная различием в размещении НД	2,70	0,2
СС неопределенности	0,72	1,70
Суммарная оценка	5,78	4,36

Суммарная стандартная неопределенность измерения реактивности для ФУМ составила 5,78%, для ЭУМ — 4,36%.

Литература

1. «Измерения реактивности реактора РБМК-1000 на физических и энергетических уровнях мощности и вычисление нейтронно-физических характеристик на основе результатов измерений реактивности». Методика № М-009.2024.

А.Ю. Балуцков, Х.Ю. Попандопуло, студ. ;
рук. В.С. Модестов, к.т.н. (НОЦ «Цифровой инжиниринг в атомной
и термоядерной энергетике» СПбПУ, Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ

Произведено сравнение экспериментальных данных с формулой Ягова [1] для коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости HFE-7100.

На рис. 1 показаны кривые кипения для поверхностей с микроструктурой в виде треугольных призм в горизонтальном положении. На рис. 2 представлены экспериментальные данные для модифицированных поверхностей: биметаллической, обработанной фрезерованием [2], и созданной методом сверхзвукового напыления медного порошка [3].

Анализ экспериментальных данных и литературных источников позволил определить приоритетные методы интенсификации теплообмена при кипении в большом объеме. Установлено, что наиболее эффективным из нижеприведенных на рис. 1 и 2 является метод развития поверхности при помощи аддитивных технологий [4].

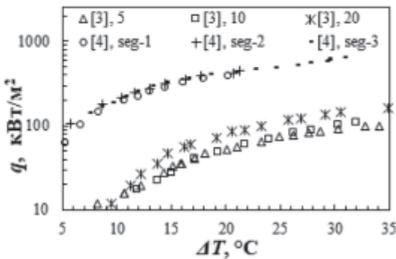


Рис. 1. Кривые кипения для аналогичных по форме поверхностей, полученных различными методами интенсификации

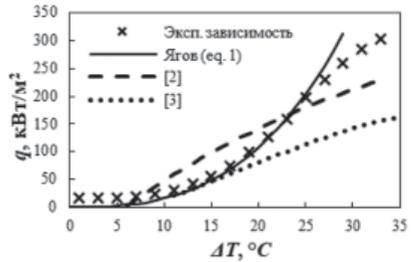


Рис. 2. Кривые кипения для модернизированных поверхностей

Литература

1. Ягов В.В. Теплообмен при развитом пузырьковом кипении жидкостей // Теплоэнергетика. — 1988. — № 2. — С. 4–9.
2. Mlakar, G. Effects of surface modifications on pool boiling heat transfer with HFE-7100 // International Journal of Thermofluids. — 2023. — Т. 17. — С. 1002–1017.
3. Jo, H.S. Supersonically sprayed, triangular copper lines for pool boiling enhancement // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2017. — Т. 113. — С. 210–216.
4. Lum, Y.X. Optimizing additively manufactured macro-fin structure designs for enhanced pool boiling of dielectric fluids // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2024. — Т. 219. — С. 1248–1267.

Ю.К. Зайцева, студ.; рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРОМ БРЕСТ-300

Выбор температуры питательной воды (ПВ) для энергоблока с реактором БРЕСТ-300 и паротурбинной установкой (ПТУ) К-300-170 является актуальной проблемой, т.к. ПТУ для этого энергоблока к настоящему времени еще не создана. Для построения зависимости электрического КПД паротурбинной установки от температуры ПВ были проведены расчеты с помощью компьютерной программы «СХЕМА».

На представленном рисунке 1 рабочая точка ПТУ находится на ниспадающей части рассчитанной кривой. Видно, что если во всех действующих паротурбинных установках повышение температуры питательной воды приводит к увеличению затрат на эту установку и увеличению мощности турбины, то для ПТУ К-300-170 энергоблока с реактором БРЕСТ-300 увеличение температуры ПВ ведет к увеличению стоимости установки и к снижению электрической мощности. Оптимизация температуры питательной воды по приведенным затратам становится невозможной. Температура ПВ должна иметь максимальное значение, при котором электрическая мощность установки будет максимально возможной при условии недопустимости затвердевания свинца. Последнее зависит от выбранных конструктивных характеристик парогенератора и движения теплоносителя, гарантированно обеспечивающих температуру стенки теплообменной поверхности выше температуры замерзания свинца (327°C) при всех режимах работы ПТУ. В настоящее время в качестве температуры питательной воды указана 340°C [1].

В результате данного исследования было получено, что существенная зависимость КПД требует более тщательного выбора температуры ПВ. Ведь, как следует из рисунка 1, уменьшение температуры питательной воды только на 1°C может привести к увеличению электрической мощности паротурбинной установки на 450 кВт.

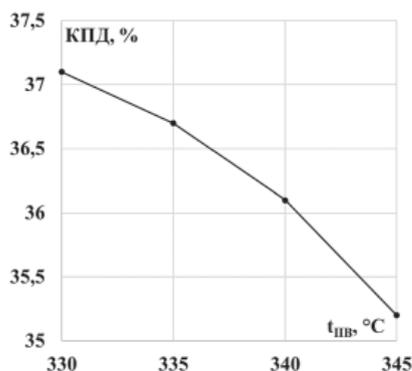


Рис. 1. Зависимость электрического КПД от температуры питательной воды для БРЕСТ-300

Литература

1. Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Смирнов В.С., Чернецов Н.Г. Технические решения и этапы разработки реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 // Атомная энергия. 2012. Т. 113. № 1. — с. 58–64.

*И.А. Зубрицкий, студ. (НИУ «МЭИ»),
лаборант-исследователь (НИЦ КИ);
рук. Н.В. Шутов, научный сотрудник (НИЦ КИ)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ ТОПЛИВА

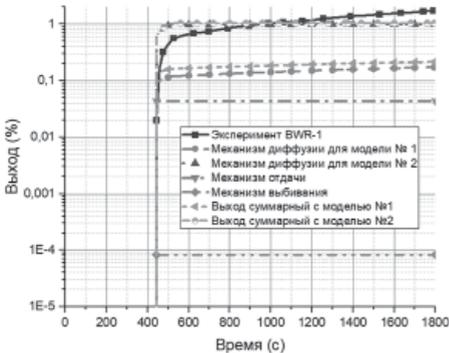


Рис. 1. Сравнение результатов выхода продуктов деления для эксперимента BWR-1 [2]

являются эксперимент EDITHMOX 01 с MOX топливом [1] и эксперименты BWR с топливом из оксида урана [2].

В данной работе представлены результаты валидации расчетных моделей выхода продуктов деления согласно различным механизмам выхода продуктов деления на экспериментах EDITHMOX 01 и BWR (см. рис. 1).

Литература

1. **D. Parrat, Y. Musante, A. Brissaud.** Mixed oxide fuel in defective experimental rod Edithmox 1: irradiation results and metallographic pie; Specific Experimental Approaches; 1992. — pp. 46–50.
2. **R.A. Lorenz, J.L. Collins, M.F. Osborne, R.L. Towns, A.P. Malinauskas.** Fission Product Release from BWR Fuel Under LOCA Conditions; Oak Ridge National Laboratory; 1981. — pp. 1–35.

Исследование выхода продуктов деления при нагреве топлива является актуальным для обеспечения безопасной эксплуатации атомных электростанций. При повреждении оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) продукты деления могут попасть в теплоноситель первого контура, что может привести к серьезным последствиям.

Для моделирования процессов, связанных с выходом продуктов деления, необходима разработка расчетных моделей и их валидация на экспериментальных данных. Примерами таких экспериментов

Б.Б. Абдуллаев, студ.;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ДЕФЛАГРАЦИИ ВОДОРОДА В CFD-КОДЕ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

При тяжёлых авариях (ТА) на атомных электростанциях (АЭС) с легководными реакторами выделяется значительное количество водорода в ходе парциркуляционной реакции. Водород и воздух могут образовывать горючую смесь в широком диапазоне концентраций H_2 . Процесс горения зависит от состава смеси, интенсивности турбулентности и геометрии. Горение может быть дефлаграционным (дозвуковая скорость распространения пламени) и детонационным (сверхзвуковое распространение). Как и детонационное, так и дефлаграционное горение водорода при ТА на АЭС может привести к нарушению целостности герметичного ограждения.

Целью данной работы является валидация модели горения предварительно перемешанной смеси водорода и воздуха в CFD-коде. Валидируется данная модель на экспериментах, проведённых на установках THAI [1] и ENACCEF [2]. Эксперименты по горению водорода на установке THAI соответствуют медленной дефлаграции, а на установке ENACCEF — быстрой дефлаграции. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными (на рисунке 1 представлены результаты расчета эксперимента THAI HD15).

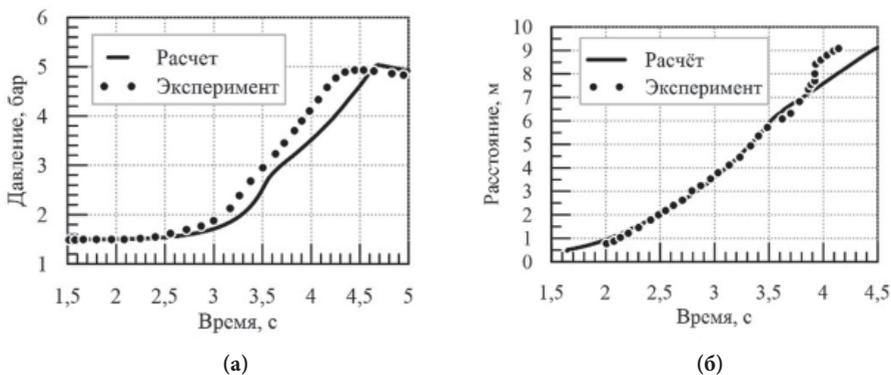


Рис. 1. (а) Сравнение расчетного и экспериментального значения давления
(б) Сравнение расчетного и экспериментального значения фронта пламени

Литература

1. **Kanzleiter T, Langer G.** Hydrogen deflagration tests in the THAI test facility. Eschborn, Germany: Becker Technologies GmbH; 2010.
2. **Bentaib A, Bleyer A, Meynet N, Chaumeix N, Schramm B, Hohne M, et al.** SARNET hydrogen deflagration benchmarks: main outcomes and conclusions. Ann Nucl Energy 2014;74:143e52. — pp. 143–152.

О.И. Коновалов, асп.;
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВА U-ZR С ВОДОЙ

При анализе тяжелых аварий для реакторных установок типа ВВЭР с учетом взаимодействия расплава с водой используется тяжелоаварийный код СОКРАТ с модулем VAREX-M. В процессе ужесточения требований к использованию инструментов численного моделирования (расчетных кодов) и эволюции моделей, включенных в состав кода, ведутся работы по верификации модуля VAREX-M в составе кода СОКРАТ.

В рамках верификации было проведено численное моделирование экспериментов FARO L-31 и KROTOS K-45 [1, 2] и проведен анализ влияния неопределенности исходных данных на результат с помощью статистической обработки вариативных расчетов с определением коэффициентов ранговой корреляции σ [3]. Варьировались параметры процесса (начальные температура и давление), параметры установки (КТО на поверхности стен, температура стен), а также параметры модели (средний диаметр капель, массовый расход подачи расплава).

В результате расчетов получено: неопределенность параметров процесса оказывает большее влияние на неопределенность пикового давления и максимальной температуры воды ($\sigma > 0,4$); неопределенность параметров модели оказывает маленькое влияние на результаты расчета ($\sigma < 0,05$). На точность получаемых результатов большее влияние оказывает точность определения давления среды и температуры воды. Неопределенность среднего размера частиц фрагментированной струи расплава не оказывает значительного влияния на точность получаемых результатов.

Литература

1. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е. Гидродинамика и теплофизика паровых взрывов. — М.: Издательство «ИПМех РАН», 2020. 276 с. ISBN 978-5-91741-259-7П.
2. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Ртищев Н.А., Тарасов А.Е. Анализ экспериментов по термическому взаимодействию кориума с водой в условиях тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР/PWR. Вестник «МЭИ» № 6, 2016. — С. 32–38.
3. РБ-166-20 Рекомендации по оценке погрешностей и неопределенностей результатов расчетных анализов безопасности атомных станций. — М. 2020. — 23 с.

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

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АСММ НА БАЗЕ РУ «ШЕЛЬФ» В УДАЛЕННЫХ РЕГИОНАХ СТРАНЫ

Атомные станции малой мощности (АСММ) на базе реакторных установок (РУ) «Шельф» обладают значительным потенциалом для экономически эффективного энергоснабжения в отдаленных регионах. Предварительный анализ показывает их конкурентоспособность по сравнению с дизельными электростанциями (ДЭС) и возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

Основным источником электроэнергии в изолированных районах являются ДЭС. Основное влияние на себестоимость их электроэнергии оказывают затраты на дизельное топливо, цена которого составляет до 70 руб./л [1, 2].

Альтернативой ДЭС в изолированных районах могут стать ВИЭ, однако они имеют ограничения в качестве основного энергоисточника из-за нестабильности генерации, отсутствия развитых электросетей и необходимости комбинированных схем с ДЭС, что увеличивает себестоимость электроэнергии и создает проблемы с доставкой топлива. ВИЭ могут служить дополнительным источником энергии с долей не более 20–25% в развитых энергосистемах, однако большая доля ВИЭ приводит к разбалансированию энергосистемы и риску блэкаутов [1].

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) для ветряных и солнечных электростанций (ВЭС и СЭС) составляет 22,7% и 11,8% соответственно. Удельные капитальные затраты увеличиваются до 183 тыс. руб./кВт для ВЭС и 172 тыс. руб./кВт для СЭС. При доле замещения выработки ВИЭ электроэнергией ДЭС на уровне 56%, стоимости дизельного топлива 70 руб./л и расходе дизтоплива 280 г/кВт·ч, себестоимость ВЭС составляет около 21 руб./кВт·ч, а СЭС — 25 руб./кВт·ч [1].

Себестоимость электроэнергии серийного энергоблока АСММ на базе РУ «Шельф» составляет около 13 руб./кВт·ч [1].

АСММ могут предложить более низкую себестоимость электроэнергии по сравнению с конкурирующими технологиями, обеспечивая при этом высокую надежность и экологичность, что позволяет снизить уровень бюджетного субсидирования.

Литература

1. **Молоканов Н.А., Гольцов А.Е.** Оценка экономической конкурентоспособности АСММ на базе РУ «ШЕЛЬФ» в сравнении с традиционными и альтернативными методами генерации URL: <https://pue8.ru/atomnaya-energetika/ocenka-ekonomicheskoy-konkurentnosposobnosti-asmn-na-baze-ru-shelf-v-sravnenii-s-tradicionnymi-i-alternativnymi-metodami-generacii.html> (дата обращения: 01.12.2024)
2. **Адамов О.Е., Соловьев С.Л.** Малые ядерные установки для внесетевого энергообеспечения — 2023. — 20 с.

П.А. Минеев, асп., С.С. Бушуева, соиск.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ КОНДЕНСАТА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭС

Повышение эффективности работы АЭС является актуальной задачей [1, 2]. Большое количество тепла, вырабатываемого в парогенераторах АЭС с реакторами типа ВВЭР, направляется в систему регенерации (СР) турбоустановки (около 15%). В свою очередь, параметры работы теплообменного оборудования СР устанавливаются, как правило, заводом-изготовителем и не всегда соответствуют оптимальным в реальных условиях эксплуатации конкретного энергоблока. При этом большой интерес вызывает влияние уровня конденсата греющего пара (КГП) в поверхностных подогревателях (ПП) СР на их производительность.

Цель работы — исследование влияния уровня КГП в ПП СР турбоустановки на энергетическую эффективность работы АЭС.

При теоретической оценке, максимизация (которая не приводит к переохлаждению КГП) уровня КГП в ПП СР способствует увеличению среднего по поверхности коэффициента теплопередачи, т.к. коэффициент теплопередачи от конденсата к стенке значительно выше, чем от пара к стенке. При этом происходит снижение расхода пара на ПП СР с сохранением температуры воды за подогревателем, что приводит к увеличению производительности турбоустановки за счет увеличения расхода пара в проточной части турбины.

В ходе экспериментально исследования 4 энергоблока КЛнАЭС проекта В-320 с реактором типа ВВЭР-1000 максимизация уровня в ПП СР низкого давления привела к увеличению электрической мощности на ~0,6 МВт. В ПП СР высокого давления зависимости между уровнем и производительностью не установлено, что может быть обусловлено наличием в данных подогревателях зоны доохлаждения конденсата.

Экспериментальные исследования в данном направлении имеют перспективы при расширении диапазонов изменения параметров, поскольку в настоящей работе диапазоны (уровней, температур, расходов) соответствовали номинальному режиму работы энергоблока АЭС.

Литература

1. **Федеральный закон от 23.11.2009 № 261** «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. **Международный стандарт ISO 50001** «Системы энергетического менеджмента — Требования и руководство к применению».

*П.А. Минеев, асп., М.Н. Мечтаева, соиск.;
рук. В.А. Горбунов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС ПРИ РАБОТЕ НА МОЩНОСТНОМ ЭФФЕКТЕ РЕАКТИВНОСТИ

Поиск путей максимального использования энергии ядерного топлива является важной задачей [1]. В следствие этого, в конце топливной кампании на АЭС с реакторами ВВЭР для увеличения выработки электроэнергии энергоблок (ЭБ) может работать за счет мощностного эффекта реактивности. При этом продолжительная работа (более 1 суток) в таком режиме требует постепенного снижения мощности ЭБ.

Целью исследования является оценка возможности повышения мощности ЭБ АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 при работе на мощностном эффекте реактивности.

Исследование основано на экспериментальных данных 4 энергоблока КЛНАЭС проекта В-320 при работе на мощностном эффекте реактивности в течение 3 суток.

Критерием повышения эффективности является выработка дополнительной мощности и снижение удельных затрат электрической энергии на собственные нужды ЭБ.

При комплексной оценке определено, что наибольшее влияние на работу ЭБ оказывают такие системы, как: регенерации турбоустановки, циркуляционных насосов (ЦН) и турбопитательных насосов (ТПН).

В системе регенерации выявлена зависимость мощности ЭБ от уровней в поверхностных подогревателях низкого давления. Оценка производилась с использованием среднего по поверхности коэффициента теплопередачи. При проведении анализа установлено, что увеличение уровней в представленных подогревателях позволит повысить мощность ЭБ на ~0,6 МВт.

В ходе исследования системы ЦН определено влияние частоты вращения электродвигателей насосов на мощность ЭБ. Использование частотного регулирования может увеличить мощность ЭБ на ~16 МВт.

Снижение потерь давления на регуляторах уровня парогенератора может привести к увеличению мощности ЭБ за счет сокращения расхода пара на ТПН на ~1,3 МВт.

Необходимо отметить, что требуется проведение дополнительных исследований в целях более детальной оценки безопасности внедрения предложенных мероприятий и влияния на надежность работы АЭС.

Литература

1. **Казьмин Д.Н.** Ядерное топливо для АЭС: современное состояние и перспективы разработки // Глобальная ядерная безопасность. 2013. № 4. — с. 53–57.

Д.А. Торхова, И.А. Семенов, студ.;
рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ АЭС

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) является одним из сложных и опасных видов радиоактивных отходов, обращение с которым жестко регламентируется и требует существенных затрат. В настоящее время в мире накоплено около 365 тыс. тонн ОЯТ в пересчете на тяжелый металл [1].

В условиях, когда замыкание ядерного топливного цикла представляет собой далекую перспективу, основной проблемой становится хранение ОЯТ. В настоящее время используются два основных метода хранения — мокрое и сухое хранение, а также их комбинация.

Мокрый метод безальтернативен на начальном этапе, при хранении ОЯТ с высоким энерговыделением. Он надежен, но весьма затратен, требует специальных мер ядерной безопасности (недопущение критичности) и наличия специальных систем обеспечения хранения и контроля, в частности, систем охлаждения и подпитки бассейнов выдержки (БВ) и контроля водно-химического режима (ВХР). Катастрофическое развитие аварии на АЭС Фукусима было вызвано в т.ч. отказом систем подпитки БВ.

Сухое хранение, за счет использования пассивных методов охлаждения, исключения реактивных аварий, меньшего объема жидких РАО и полного исключения коррозии имеет явное преимущество по надежности и дешевизне.

В качестве основных направлений совершенствования обращения с ОЯТ в настоящее время рассматриваются следующие:

- 1) сочетание мокрых и сухих методов хранения, оптимизация времени выдержки в БВ как способ снижения затрат на хранение ОЯТ;
- 2) переработка ОЯТ, ключевым вопросом которой является удешевление технологии за счет альтернатив PUREX-процессу, например, пирохимической переработки.

В качестве практических шагов в этом направлении можно назвать БРЕСТ-300 ОД и строительство нового завода РТ-2 на ПО «Маяк» [2]

Литература

1. **О.И. Катаева, Д.А. Седнев.** Сбалансированный ЯТЦ при обращении с ОЯТ атомных электростанций. — Москва. — 2023. — 79–81 с.
2. **Д.В. Бирюков, В.И. Дорогов, Т.А. Спивак.** К оценке сценарных вариантов долгосрочного хранения отработавшего ядерного топлива // ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ. — Москва. — 2011. — 58–66 с.

О.И. Коновалов, асп.;
рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПАРОВОЙ ПЛЕНКИ ПРИ КОЛЛАПСЕ ПУЗЫРЬКА ПАРА ПРИМЕНительно К ПАРОВЫМ ВЗРЫВАМ ПРИ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Одним из необходимых условий возникновения паровых взрывов является образование хорошо перемешанной квазистационарной системы расплава с водой [1]. В условиях значительных тепловых потоков охлаждение поверхности расплава происходит при пленочном кипении (т.е. с образованием оттесняющей паровой пленки). Существует ряд гипотез о срыве паровой пленки с поверхности расплава, основанных на гидродинамических эффектах. В частности, развитие неустойчивости на поверхности оттесняющей паровой пленки, при которых радиус кривизны свободной поверхности может достигнуть размеров толщины пленки в результате чего возникает локальное место контакта расплава с водой [2].

В настоящей работе проведен анализ исходных событий, а именно коллапса паровых пузырьков вблизи свободной поверхности паровой пленки при стратифицированной конфигурации. В рамках анализа рассматривалась следующая гидродинамическая задача: в воде над поверхностью расплава на расстоянии D происходит коллапс пузырька пара с радиусом r , вызванный перепадом давления пара в объеме пузырька и окружающей жидкости. Поверхность расплава оттеснена паровой пленкой с толщиной h . Для решения задачи сформулирована система уравнений, включающая уравнения неразрывности сохранения импульса, а также замыкающие соотношения для взаимодействия фаз пар-вода. Решение проводилось численно, с помощью CFD-кода FlowVision [3] в плоской постановке VOF-методом.

Получено, что в процессе коллапса (сжатия) парового пузырька паровая пленка деформируется в результате межфазного трения при движении жидкости, направленном в centru-масс пузырька, в области между пузырьком и пленкой. Высота деформации h зависит от расстояния пузырька от поверхности, радиуса пузырька, $L/h = f(D, r)$. Для размеров пузырька $r = 2.5$ (5,0) мм при $h = 2$ мм, $D = 5,0$ (8,5) мм: $L/h \approx 1,4$ (2,6).

Литература

1. **Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е.** Термическое взаимодействие высокотемпературных расплавов с жидкостями. Теплофизика высоких температур, том 60, № 2, 2022. — С. 280–318.
2. **HangJin Jo, Jun Wang, Corradini M.** Stratified steam explosion energetics. Nuclear Engineering and Technology, Vol. 51, Issue 1, 2019, P. 95–103.
3. **Aksenov A.A.** FlowVision: Industrial computational fluid dynamics. Computer research and modeling, Vol. 9, No. 1, 2017. P. 5–20.

*Е.С. Шевелев, асп.; В.В. Семишин, соиск.;
рук. О.Ю. Кавун, д.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ САФИР-РФ, ДЕСНА-7 И ТРР ДЛЯ РАСЧЕТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ШЕЛЬФ

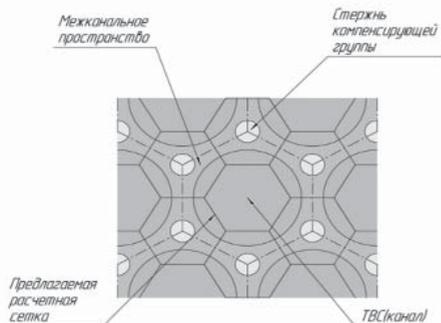


Рис. 1. Фрагмент расчетной модели активной зоны реактора с применением разработанной методики разбиения

Выполнено моделирование топливной кампании активной зоны, расчет распределения энерговыделения, длительности топливной кампании с учетом эффективности органов регулирования. Полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с расчетами по программному комплексу МСУ.

Разработана нейтронно-физическая и теплогидравлическая модель РУ ШЕЛЬФ [1] с реактором водо-водяного типа. Активная зона данного реактора образована цилиндрическими ТВС (каналами) и органами регулирования. Теплоноситель первого контура протекает как внутри каналов, так и в межканальном пространстве.

Выделение межканального пространства (рис. 1) в отдельные расчетные ячейки гексагональной сетки позволяет реализовать учет обратных связей по температуре теплоносителя.

Выполнено моделирование топливной кампании активной зоны, расчет распределения энерговыделения, длительности топливной кампании с учетом эффективности органов регулирования. Полученные результаты находятся в удовлетворительном согласии с расчетами по программному комплексу МСУ.

Литература

1. Гольцов Е.Н., Куликов Д.Г., Пименов А.О., Рапницкий В.А. Унифицированная реакторная установка «ШЕЛЬФ» для атомных станций малой мощности // Сб. докл. конференции «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики: МНТК НИКИЭТ 2016» 27–30 сентября 2016 г. Т. 1. — М.: АО «НИКИЭТ», 2016. — с. 582–586.

К.Ш. Юзбашиева, студ.;
рук. С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В связи с досрочным прекращением эксплуатации зарубежных АЭС с реакторами на быстрых нейтронах (PHENIX, SUPERPHENIX и др.) и выработавшем свой проектный ресурс реактором БН-350, возникла проблема обращения, очистки и химической нейтрализации больших объемов отработанного натрия. Натриевый

теплоноситель 1-го контура БН-реакторов обладает высокой наведенной активностью — Na-22, высокой активностью долгоживущих продуктов деления и коррозии — Cs-137, Cs-134, Sb-125, Mn-54, Co-60, Ag-110m, Zn-65, Ru-106, Ce-144, H-3, загрязнен ядерным топливом, а также пожаро- и взрывоопасен.

Хорошо известно, что щелочные металлы при взаимодействии с водой или водяным паром являются одним из наиболее эффективных генераторов чистого водорода с образованием щёлочи и воды [1,2]. Получаемый водород является при этом практически нерадиоактивным.

Современные технологии использования водорода в энергетике, основанные на применении топливных элементов — электрохимических генераторов, способных обеспечить КПД преобразования до 75–80% [1].

Указанные обстоятельства позволяют разработать простую технологию длительного (превышающего периоды полураспада критических носителей радиации) использования щелочных металлов в замкнутом цикле суточного регулирования мощности АЭС с электролизной и электрохимической надстройкой. Схема такой АЭС показана на рисунке 1.



Рис. 1. Технологическая схема использования отработанного натрия реактора БН

Литература

1. Щеклеин С.Е., Радченко Р.В. Электрохимические источники энергии // Екатеринбург: 2011, УрФУ — 150 с.
2. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В., Щеклеин С.Е. Водород в энергетике. Учебное пособие / 2020, Москва, Изд. Юрайт — 230 с.

Д.Ю. Ушаков, студ.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ВАБ ДЛЯ АВАРИЙ С ПОТЕРЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА АЭС

В докладе представлены основы подхода динамического вероятностного анализа безопасности (ДВАБ) с использованием метода поиска глобального оптимума – генетического алгоритма (ГА), и результаты расчетов аварийного процесса с гильотинным разрывом холодной нитки ГЦТ для РУ ВВЭР-1200.

ДВАБ с применением ГА, реализован в программе Nuclear Plant Optimizer (NPO) использующей режим параллельных вычислений и был успешно адаптирован для кодов: RELAP5, MELCOR и двухзонного кода моделирования пожаров. Была проведена апробация для ряда аварийных сценариев РУ ВВЭР-1000 В-320 [1, 2].

Моделирование динамических процессов ВВЭР-1200 проводилось с помощью динамического системного кода RELAP5 mod 3.3. Теплогидравлическая модель реакторной установки состояла из следующих элементов: реактор, 4 петли, второй контур, пассивная часть системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), система пассивного залива активной зоны (СПЗАЗ).

Итоговое параметрическое пространство с учетом нодализации модели состояло из 29 компонент, таких как задержка на срабатывание систем безопасности, коэффициенты теплоотдачи и т.п. Всего было проведено 2289 расчета в параллельном режиме. Максимальная достигнутая температура составила 1917К. Температура больше 1500К была достигнута в 6 расчетах, больше 1000К в 250 расчетах. Подробный динамический анализ результатов выявил 4 возможных варианта протекания достаточно простого аварийного сценария.

ДВАБ можно считать практичным инструментом, который не заменит ВАБ, но станет хорошим дополнением, для поиска неочевидных вариантов реализации сценария аварии.

Литература

1. **Воробьев Ю.Б., Кудинов П., Ельцов М., Кёоп К., Чьонг Ван К.Н.** Применение информационных технологий (генетические алгоритмы, нейронные сети, параллельные вычисления) в анализе безопасности АЭС, Труды Института системного программирования РАН, том 26, 2014 г. Выпуск 2. стр. 137–158.
2. **К.Н. Чьонг Ван, Ю.Б. Воробьев** Нахождение наиболее опасных аварийных ситуаций на АЭС и идентификация их возникновения в процессе эксплуатации, Вестник МЭИ. 2016. № 5. С. 30–38.

Е.В. Становов, асп.;
рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТРЕБОВАНИЯ К МАНЕВРЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЭНЕРГОБЛОКОВ ВВЭР ТОИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В требованиях к режимам регулирования частоты предполагается активное участие энергоблоков АЭС во вторичном регулировании частоты в энергосистеме. Согласно требованиям, СО ЕЭС энергоблок должен в течение часа менять мощность от 2 до 4 раз с амплитудой до 10% $P_{ном}$ и скоростью от 1% $P_{ном}$ /минуту до 5% $P_{ном}$ /минуту [1], [2].

Анализ суточных графиков нагрузки в энергосистеме ЕЭС России, показал, что:

- графики переменной части суточной электрической нагрузки не меняются в течение длительного периода времени;
- коэффициенты неравномерности, т.е. отношение максимума потребления электроэнергии к минимуму в течение суток, лежат в диапазоне значения от 0,75 до 0,8. При этом наблюдается тенденция к смещению значения коэффициента неравномерности до 0,8, т.е. к выравниванию суточного графика несения нагрузки;
- скорости набора мощности в энергосистеме невелики. Например, скорость набора мощности энергоблока, работающего в режиме следования за нагрузкой в энергосистеме, составляет 0,058–0,14% $P_{ном}$ /минут [1].

Подготовлен отчет по отклонениям частоты и системным авариям в энергосистемах где располагаются АЭС. По результатам анализа, в современных условиях для участия энергоблока АЭС в режиме частотного регулирования достаточно диапазона изменения мощности в 5% от номинала.

Литература

1. Исходные данные и технические требования к расчетам работы технологических контуров регулирования энергоблока проекта ВВЭР-ТОИ совместно с регуляторами энергосети. ОАО «ВНИИАЭС». — 2013. — 80 с.
2. Системный оператор» провел натурные системные испытания по определению частотных свойств ЕЭС России <https://news.myseldon.com/ru/news/index/261144510> (дата обращения 22.10.2024).
3. **С.С. Ананичева, А.А. Алексеев, А.Л. Мызин.** Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах»: учебное пособие. Екатеринбург, 2012. — 4 с.

*Р.А. Горяев, С.А. Машкин, А.Р. Пожидаев, студ.;
рук. К.О. Дудкин (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТЫКОВ ПУЧКОВ ВИТЫХ САМОДИСТАНЦИОНИРУЮЩИХСЯ ТВЭЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

В работе [1] описывается опыт проведения газодинамических испытаний моделей пучков витых самодистанционирующихся твэлов, изготовленных с помощью аддитивных технологий. Целью исследования было определение коэффициента гидравлического трения для стержней витой формы. Для этого использовались последовательно расположенные секции витых твэлов, незакрепленных относительно оси вращения.

В потоке рабочего тела незакрепленные твэлы поворачиваются относительно своей оси. В зависимости от взаимного расположения твэлов на стыке секция изменяется площадь поперечного сечения в соседних ячейках, а, соответственно, и коэффициент гидравлического сопротивления (КГС) стыков. С помощью статистического метода Монте – Карло можно получить распределение КГС в зависимости от угла поворота каждого твэла.

Данная работа посвящена расчетным оценкам КГС при различных вариантах расположения твэлов, а именно:

1. Свободное расположение;
2. Расположение в гофрированной решетке;
3. Расположение в дистанционирующей решетке с изменением формы торцов твэлов.

При использовании метода Монте – Карло расчетное значение КГС составило $1,663 \pm 0,82$ с доверительной вероятностью 99,994%.

При использовании гофрированной решетки рассматривались несколько вариантов решеток различной толщины.

При толщине решетки 0,3 мм значение КГС составило 2,05.

При использовании дистанционирующей решетки с изменением формы торцов твэлов КГС принимает значение 0,28.

По итогам сравнения результатов было выявлено, что наилучшим вариантом является применение дистанционирующей решетки с изменением формы торцов твэлов.

Литература

1. **Марков П.В., Дудкин К.О.** Опыт газодинамических исследований моделей пучков витых самодистанционирующихся твэлов, изготовленных с использованием аддитивных технологий // Проблемы машиностроения и автоматизации, № 2 — 2023. С. 64–69.

Секция 43

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

Л. М. Юсупова, студ.; рук. Е. Д. Казаков, к. ф. - м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИОДНОЙ ПЛАЗМЫ В СИЛЬНОТОЧНОМ ЭЛЕКТРОННОМ УСКОРИТЕЛЕ «КАЛЬМАР» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛН СЖАТИЯ В МИШЕНЯХ

При импульсном выделении энергии, обеспечиваемом релятивистским электронным пучком, в облучаемом образце формируется и распространяется ударная волна. В большинстве работ различные параметры на поверхности мишени оцениваются с учетом одного взаимодействия электронного пучка с поверхностью за время его воздействия (~100 нс). Однако результаты последних исследований продемонстрировали [1], что волны деформации могут формироваться и спустя значительный период времени после окончания воздействия пучка. Некоторые эксперименты показывают экстремальные параметры плазмы в области диодного зазора, это может повлиять на формирование волн в мишени. Для проведения более детальных оценок влияния плазменного столба на этот процесс было проведено одномерное моделирование в рамках магнитной гидродинамики. По результатам моделирования было выявлено, что в плазменном столбе возникает область повышенного давления, значение которого может достигать 600 МПа. В то же время минимальное значение давления для оргстекла, которое может быть наблюдаемо экспериментально, составляло 8 МПа. Увеличение давления плазмы в столбе будет порождать увеличение давления и на поверхность мишени, что может привести к формированию вторичных волн сжатия или ударных волн, распространяющихся внутри мишени. Таким образом, показано, что процессы, происходящие в диодной плазме, могут оказывать значительное влияние на динамику ударно-волновых процессов в твердых мишенях.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. Демидов Б. А., Казаков Е. Д., Калинин Ю. Г. Применение лазерной теневой фотографии с электронно-оптической регистрацией в хронографическом режиме для исследования динамики ударных волн в прозрачных материалах // ПТЭ. 2020. № 3. с. 90–95.

И.В. Субботин, студ.;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕМРИСТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК: ПОСЛОЙНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОМ РФЭС

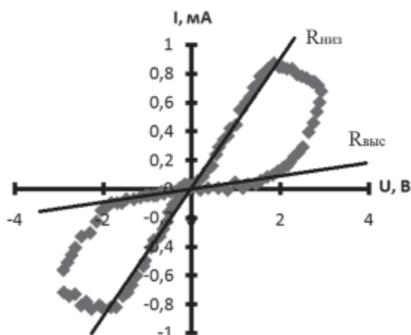


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика пленки Nb-Nb₂O₅

в качестве активного слоя мемристоров, в зависимости от приложенного к ним напряжения. На рисунке продемонстрирована вольт-амперная характеристика пленки окисленного ниобия. Выделяется два различных режима с низкоомным и высокоомным сопротивлением пленки. Изменение сопротивления связано с тем, что под воздействием внешнего электрического поля носители заряда (ионы кислорода и вакансии) перемещаются в объеме материала, меняют локальную степень окисления металла и послойный химический фазовый состав [2].

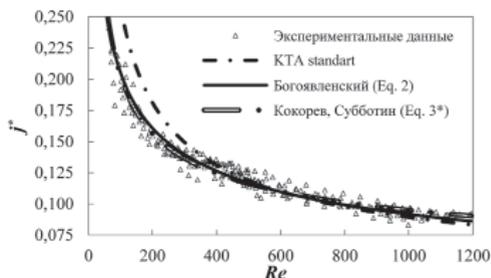
Для создания неоднородной структуры металл-оксидной пленки использовалось ионное распыление в условиях высокого вакуума. На различных этапах распыления был получен послойный химический фазовый профиль методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии [3].

Литература

1. Гудков и др. — 2014 — Мемристоры-новый тип элементов резистивной памяти.pdf.
2. R. Waser, M. Aono — Nanoionics-based resistive switching memories.pdf.
3. Лубенченко и др. — 2022 — Послойный химический и фазовый анализ наноразмерны.pdf.

Х.Ю. Попандопуло, А.Ю. Балуцков, студ.; рук. А.М. Лобачев, инженер-исследователь (ПИШ СПбПУ, Санкт-Петербург), В.С. Модестов, к.т.н. (НОЦ «Цифровой инжиниринг в атомной и термоядерной энергетике» СПбПУ, Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА И ВЗАИМОСВЯЗИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ С КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТДАЧЕЙ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ



Сравнены расчетные соотношения по конвективному теплообмену в пористой среде при турбулентном течении с экспериментальными данными авторов данной работы.

Рис. 1. Теплоотдача шаров при течении жидкости через шаровую засыпку

$$j^* = \frac{\overline{Nu}}{Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}, \quad Re = \frac{u_{\phi} d_{\text{ш}}}{\nu} \quad (1)$$

где j^* — безразмерный фактор теплоотдачи, $\overline{Nu} = \alpha d_{\text{ш}} / \lambda$ — среднее число Нуссельта, Re , Pr — числа Рейнольдса и Прандтля, u_{ϕ} — скорость фильтрации, ν — кинематическая вязкость жидкости.

$$\overline{Nu} = 0,77 Re^{0,65} Pr^{0,5}, \quad (2)$$

$$\overline{Nu}_{\varepsilon} = K (\xi_{\text{эксп}} Re^3)^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

где $\xi_{\text{эксп}}$ — экспериментальный коэффициент гидравлического сопротивления, Re_{ε} — число Рейнольдса, определяемое по внутреннему течению в порах, $K = 0,0662 c_{\nu} \varphi$, c_{ν} — константа Колмогоровского микромасштаба скорости, определяется опытным путем, $\varphi(Pr, Re)$ (см. [1]).

$$\overline{Nu} = 0,24 (\xi_{\text{эксп}} Re^3)^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{3}}. \quad (3^*)$$

В результате работы формула (3) модифицирована в формулу (3*), определены расчетные соотношения ((3), (4*)) с погрешностью менее 10% при $Re = 100-1200$ и $Pr = 3-6$.

Литература

1. Л.С. Кокорев, В.И. Субботин и др. О взаимосвязи гидравлического сопротивления и теплоотдачи в пористых средах, ТВГ — Т. 25, № 1, 1987. — С. 92–97.

Ю.И. Матвейко, студ.;
рук. Е.Д. Казаков, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРОЙНОГО ЗОНДА ЛЕНГМЮРА

В рамках работ над проектом безэлектродных плазменных ракетных двигателей (БПРД) важной задачей является определение радиальных распределений потоковых величин плазмы. Метод электрических зондов Ленгмюра [1] является самым распространённым методом диагностики плазмы. Использование тройного зонда Ленгмюра [2] позволяет локально оценить следующие параметры потока плазмы: температуру электронов, концентрацию ионов, плотность тока исходя из радиального распределения которой, можно получить величину полного тока плазменного пучка.

В рамках данной работы на исследовательском стенде Е-1 (прототипе БПРД) была разработана и собрана дифференциальная электрическая измерительная схема. Данная схема позволяет повысить «чистоту» снимаемых с зонда параметров, путем отсеивания шумов на фильтрах и изолированном инструментальном усилителе. Так же была разработана программа в пакете MATLAB позволяющая получать осциллограммы токов и напряжений, снимаемых с зонда на стенде Е-1 при частоте дискретизации системы регистрации данных 20 кГц. Программа производит расчёт электронной температуры и концентрации, создаёт графики радиальных распределений параметров, а так же ведёт расчёт полного тока плазмы в диагностическом сечении по результатам экспериментов.

Полученные в ходе серий опытов на стенде Е-1 результаты позволяют судить о форме плазменные пучка, коэффициенте использования газа, радиальном распределении потоковых параметров. Это важные показатели при различных режимах возбуждения потока плазмы: как в режиме геликонного разряда, так и в режиме геликонного разряда с дополнительным нагревом на частоте ионно-циклотронного резонанса (ИЦР). При этом конфигурации токов в катушках и электрическая мощность, подаваемая на геликоную и ИЦР антенны, могут быть различны.

Литература

1. **Francis F. Chen.** Langmuir Probe Diagnostics // Mini-Course on Plasma diagnostics, IEEE-ICOPS meeting. — 2003.
2. **Qayyum A. et al.** Time-resolved measurement of plasma parameters by means of triple probe // Review of Scientific Instruments. — 2013. — Т. 84. — № 12.

И.С. Григорьев, студ.; рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИН УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С УЧЁТОМ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ

Одним из популярных методов анализа поверхностей является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), позволяющая определять химический состав поверхности и применяемая для решения широкого спектра задач, в том числе определения химического загрязнения, характеристик материалов, качества поверхности.

Метод РФЭС заключается в рентгеновском облучении поверхности и анализе энергетического спектра высвобождаемых фотоэлектронов, по энергии которых возможно определить энергию связи электронов и делать выводы о химическом составе поверхности.

Электроны в материале претерпевают упругие и неупругие рассеяния, из-за чего пики в спектре электронов по энергиям, соответствующие определённому химическому составу материала, искажаются.

Для учёта упругого рассеяния при определении толщин слоёв вводится параметр длины затенения¹, которая заменяет среднюю длину свободного пробега электрона. Однако возможен другой подход, при котором предполагается, что интенсивность сигнала от слоя и его толщина связаны квадратично. Для проверки такого подхода необходима модель, которая бы описывала упругие и неупругие рассеяния и позволяла бы получить модельные спектры, сопоставимые с экспериментально полученными.

Эта модель была реализована в работе с использованием метода Монте-Карло: моделирования и сбора статистики по большому числу траекторий электронов. Созданный алгоритм использует метод локальной оценки для того, чтобы существенно повысить эффективность использования полученных в результате моделирования данных.

С помощью алгоритма проведено моделирование, результаты которого показали отклонения значений толщин, определяемых с использованием значения длины затенения, от заданных в расчёте; в качестве альтернативного способа определения толщин было предложено выражение, использующее квадратичную связь толщины слоя с интенсивностью его сигнала; предложены также методы для определения толщин слоёв в трёхслойной мишени.

Литература

1. **Jablonski, A.** Evaluation of procedures for overlayer thickness determination from XPS intensities / A. Jablonski // Surface Science. — 2019. — № 688 (688). — С. 14–24.

М.Д. Мартиросян, студ.;
рук. А.Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ДИСПЕРГИРОВАННОГО ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Охлаждение диспергированным потоком теплоносителя является одним из наиболее эффективных методов отвода тепла, как сообщается в работе [1]. Оно используется во многих областях науки и техники, например, в исследованиях термоядерного синтеза, металлургии, электронике и многих других. Из-за высокой сложности физики процесса охлаждения высокотемпературного объекта (с поверхностью большей температуры, чем температура начала фазового перехода) диспергированным потоком задача по его моделированию подразделяется на более простые, элементарные задачи. В частности, на определение коэффициента фазового перехода диспергированного потока теплоносителя — его доли, претерпевшей фазовый переход.

Для этого стоит воспользоваться следующим его определением, которое согласуется с работой [2]:

$$\eta = \frac{q_{\text{экс}}}{q_{\text{теор}}} = \frac{q_{\text{экс}} S_M}{h_{LG}(p, T_s(P))G} = \frac{q_{\text{экс}} S_M}{h_{LG}(p)G} = f(p, G) = f\left(\frac{p}{p^*}, \frac{G}{G^*}\right) \quad (1)$$

Здесь давление и расход лучше принять относительными величинами, $p^* = 10^5$ Па, а $G^* = 10^{-3}$ кг/с. Для определения энтальпии фазового перехода жидкость-газ стоит воспользоваться таблицами [3], поскольку в эксперименте в качестве теплоносителя использовалась вода. Было бы полезно учесть перегрев воды относительно температуры насыщения при кипении, как указано в книге [4], но это значительно увеличило бы итоговые отклонения, поэтому было решено не рассматривать третью переменную. При усреднении результатов эксперимента по всем типам поверхностей, получился результат, описываемый следующей формулой:

$$\eta^{FIT}(p_{\text{отн}}, G_{\text{отн}}) = p_{\text{отн}}^{0.820} G_{\text{отн}}^{-1.579} \quad (2)$$

Использовалась модификация алгоритма Левенберга–Марквардта, о которой можно узнать в статье [5]. Максимальное отклонение от экспериментальных значений по модулю не превосходило 5%.

Литература

1. **Mudawar I.** // IEEE Trans. Compon. Packag. Technol. 2001. V. 24. P. 122–141.
2. **Дедов А.В., Комов А.Т.** и др. // Теплоэнергетика, 2022, № 12, с. 54–63.
3. **Александров А.А.** и др. Таблица теплофизических св-в воды и вод. пара. М: Энергоатомиздат, 2008.
4. **Клименко А.В.** и др. Теплотехнический эксперимент. В 4-х кн. Т. 2. М: Энергоатомиздат, 1988.
5. **Coleman, T.F. et al.** // SIAM J. Optim. 1993. V. 6. P. 418–445.

Э.И. Гареев, студ.; А.В. Беляев, доц.;
рук. А.В. Дедов, д.т.н., чл.-корр. РАН («НИУ МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В МОДЕЛЬНОМ МИНИКАНАЛЬНОМ КОЖУХОТРУБНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

В настоящее время широко исследуются различные теплообменные устройства с каналами малого диаметра (миниканалы). Применение миниканалов позволяет увеличить общий коэффициент теплопередачи и уменьшить габариты теплообменников.

В докладе представлена конструкция кожухотрубного теплообменника с миниканалами. Кожух выполнен из стали, внутренний диаметр $d_{\text{внут}} = 16$ мм, толщина стенки 1,5 мм, длина 100 мм. Внутри кожуха размещены 10 миниканалов с внутренним диаметром $d_{\text{внут}} = 1,1$ мм, толщиной стенки 0,25 мм и рабочей длиной 100 мм. Миниканалы приварены к стальным трубным доскам диаметром 19 мм и толщиной 2 мм. За трубными досками расположены коллекторы с внутренним диаметром, изменяющимся от 16 мм до 4 мм.

Были выполнены экспериментальные исследования теплообмена при течении кипящего фреона R125 внутри миниканалов, нагреваемых водой. Исследование выполнено для различных температурных режимов и расходов как греющей, так и охлаждающей жидкостей. Циркуляция воды поддерживалась с помощью термостата, температура на входе в кожух устанавливалась от 60 до 80°C. Циркуляция и параметры потока фреона обеспечивались вторым контуром, конструкция которого будет представлена в докладе. Температура кипения фреона составила 30 и 40°C.

В докладе представлены результаты о теплообмене в виде зависимостей снимаемого теплового потока от различных параметров течения.

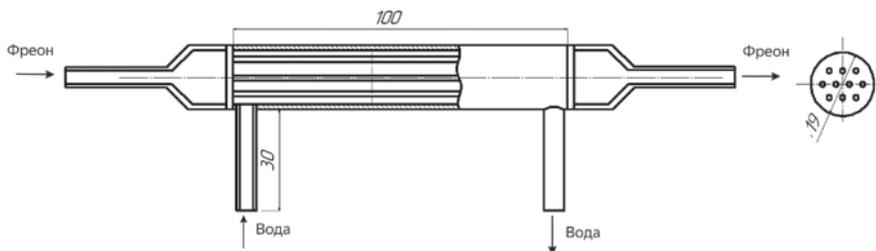


Рис. 1. Принципиальная схема миниканального кожухотрубного теплообменника

М.А. Андреев, студ.;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОСЛОЙНЫЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОГО ТЕЛА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С ИОННЫМ ТРАВЛЕНИЕМ

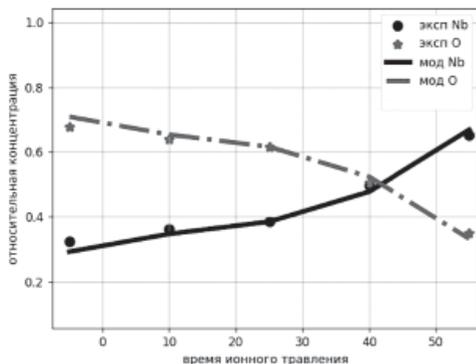


Рис. 1. Относительные концентрации элементов в образце, в зависимости от времени ионного травления

явление перемешивания, что приводит к изменению структуры плёнки [1]. В связи с этим возникает необходимость в определении состава плёнки до того, как на неё воздействовал ионный пучок. В данной работе был предложен метод позволяющий это сделать. Данный метод был опробован на плёнки оксида ниобия с длительности ионного травления 55 минут. На рисунке 1 представлены значения относительных концентраций кислорода и ниобия в зависимости от времени травления, полученные в ходе эксперимента и моделирования.

Литература

1. **Adel Sarolta Racz, Miklos Menyhard** XPS depth profiling of nano-layers by a novel trial-and-error evaluation procedure // Scientific Reports. 2024. № 14.

С.А. Седельников, студ.;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ВЕЩЕСТВЕ С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭФФЕКТОВ

Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), оже-электронной спектроскопии (ОЭС), спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) и др. широко используются для исследования поверхности. Анализируя спектры, полученные описанными выше методами, можно получить информацию о структуре исследуемой поверхности.

Энергетический спектр состоит из упругих пиков, сформированных от нерассеянных и упруго рассеянных электронов, и из фона, образованного неупруго рассеянными электронами. Чтобы качественно выполнить анализ энергетических спектров необходимо, чтобы используемые методы имели под собой физическую основу, т.е. необходимо знать дифференциальное сечение потерь энергии электрона в веществе. На данный момент пользуются популярностью формулы Тугарда [1], полученные при решении задачи рассеяния электронов в однородном слое вещества. Однако слой неоднороден, на электрон действуют поверхностные эффекты, и если их не учесть, то это приведет к ошибкам интерпретации полученных данных, особенно для электронов, вылетающих с поверхности под скользкими углами. Поверхностные эффекты в данной работе были учтены с использованием расширенной диэлектрической функции Друде-Линдхарда [1, 2] по методу Ли [2], в котором дифференциальное сечение потерь энергии зависит от точки рассеяния.

В данной работе найдена функция пропускания с учетом поверхностных эффектов на основе метода Ли. Эта функция является базовой для расчета энергетических спектров. Задача была решена не только методом Монте-Карло, но и матричным методом.

Литература

1. **Tougaard S.** Universality classes of inelastic electron scattering cross-sections // *Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films.* — 1997. — Т. 25. — № 3. — С. 137–154.
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.

Д.А. Тупотилов, А.С. Демидов, асп.; П.А. Тупотилов, студент;
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ И ОДНОСТОРОННЕМ НАГРЕВЕ МИШЕНИ

В настоящее время одной из технических задач при эксплуатации различного оборудования является обеспечение системы охлаждения способностью отводить тепловые потоки высокой плотности и поддерживать состояние теплонагруженной поверхности в режиме термостабилизации [1]. Данную задачу можно отнести практически к любой отрасли, например, компьютерам и центрам обработки данных, к рентгеновской медицинской технике, гибридным автомобилям, силовой электронике, blankets и divertor термоядерного реактора. В работах [2, 3] авторы показали, что использование дисперсного потока в качестве теплоносителя при тепловых нагрузках в несколько МВт/м² может быть перспективной альтернативой традиционным способам охлаждения однофазным потоком воды.

Целью измерений было изучение возможности термостабилизации поверхности, подвергающихся тепловым нагрузкам порядка нескольких МВт/м², охлаждаемых дисперсным потоком теплоносителя. Экспериментальные исследования охлаждения мишени, изготовленной из меди, проводились в широком диапазоне значений расходов воды и воздуха. Температурное поле в мишени фиксируется с помощью термопар, расположенных на разной глубине. В ходе экспериментов измерялись как электрические параметры электронного пучка (ускоряющее напряжение U , анодный ток I_a), так и термогидравлические параметры компонентов потока диспергированного теплоносителя (температура воды и газа на входе и выходе исследовательского модуля соответственно T_{in_liq} , T_{in_gas} , T_{out} ; объемный расход воды и газа Q_{liq} , Q_{gas} ; давление компонентов теплоносителя p_{liq} , p_{gas}). В результате экспериментов был получен массив экспериментальных данных и выполнена его обработка, а также проведен анализ полученных данных.

Литература

1. **I. Mudawar.** Recent advances in high-flux, two-phase thermal management. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 5 (2013), p. 021012.
2. **Lyublinski I.E., Mirnov S.V., Komov A.T. et al.** Innovative method of cooling and ther-mostabilization of tokamak elements with capillary-porous structures. — *J. of Physics: Conf. Series*, 2017, vol. 891(1), p. 012152.
3. **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.

Секция 44

ТЕПЛОФИЗИКА

Thermophysics

Председатель секции: д.ф.-м.н., профессор Синкевич Олег Арсеньевич

Секретарь секции: к.т.н. Глазков Василий Валентинович

Б.С. Серов, студ.; рук. Д.О. Дуников, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИОВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

В качестве источника водорода с низким уровнем выбросов углекислого газа может выступать биомасса. Существуют методы, которые позволяют получать водород в результате жизнедеятельности некоторых микроорганизмов [1].

Продукт биологической переработки органического сырья представляет собой смесь газов с низким содержанием водорода (менее 1 бара). Недавние исследования показывают, что водородный метаболизм более распространён в природе, чем предполагалось ранее. В частности, он характерен для некоторых глубоководных микроорганизмов, адаптированных к среде с высоким давлением.

Для обеспечения высокого давления внутри биореакторов требуется меньше энергии, чем для сжатия продуктовых газов. Использование микроорганизмов, устойчивых к высокому давлению, позволит разработать новый метод эффективного получения биоводорода.

В работе представлены результаты эксперимента, проведённого на установке по производству биоводорода при атмосферном и повышенных давлениях (5 и 10 атмосфер). Для этого был разработан реактор АН017, предназначенный для работы в условиях высокого давления. В него помещаются исследуемые цианобактерии [2] и питательная среда, после чего реактор заполняется аргоном с необходимым давлением. Выделяемый микроорганизмами газ собирается в пробоотборник, а затем анализируется с помощью лазерного газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000». На основе хроматограмм и полученных данных формулируются выводы об эффективности этого метода производства.

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.
2. Bozieva A.M. et al. New cyanobacterial strains for biohydrogen production // International Journal of Hydrogen Energy. — 2023. — Т. 48. — № 21. — С. 7569–7581.

Д.М. Баранова, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ ОБРАТНОГО ВИХРЕВОГО КАСКАДА В ПРОЦЕССЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ



Рис. 1. Образование термиков первого уровня

В работе аналитически и экспериментально исследуется возникновение и развитие конвективных вихревых структур на ранних стадиях естественно-конвективных течений в плоском обогреваемом снизу слое жидкости. Рост возникающего у обогреваемого дна сосуда теплового пограничного слоя прини-

мается квазистационарным, вследствие чего для оценки полученных результатов можно рассматривать задачу об устойчивости стационарного плоского обогреваемого снизу слоя, или задачу Рэлея [1]. Первоначально возникшие термики кардинально изменяют механизм переноса тепла и импульса. Возникающие впоследствии конвективные структуры (термики второго уровня) имеют намного большие размеры. Эти и другие характеристики могут быть получены из решения все той же задачи Рэлея, но с введением коэффициентов турбулентной теплопроводности и вязкости, величина которых зависит от того, какой уровень термиков рассматривается.

Для определения характерных размеров образующихся термиков был проведен ряд экспериментов, в которых фиксировалось время от начала нагрева до момента образования первичных вихревых структур, рис. 1.

С целью исследования влияния вихревых структур первого уровня на второй на основании полученных результатов были вычислены характерные размеры структур второго уровня, а также произведены оценки соответствующих теплофизических свойств. С помощью видеоаппаратуры была также исследована скорость и характер всплытия термиков.

Литература

1. **Линь Цзя Цао. Теория гидродинамической устойчивости.** М.: Издательство иностранной литературы. 1958.

М.В. Тывровский, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БЫСТРЫЙ РЕАКТОР С ТЯЖЕЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ С ПЛАВАЮЩИМИ ТВЭЛ

В настоящее время идет строительство быстрого реактора БРЕСТ-ОД-300, работающего на свинцовом теплоносителе. В данной работе рассматривается концепция быстрого реактора, в котором в качестве теплоносителя будет использоваться жидкий свинец, а тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) будут иметь форму шара со стальной оболочкой, внутри они будут содержать ядерное топливо в виде отдельных гранул и расплавленный свинец. 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 псевдооживленную структуру из шаровых ТВЭЛов, плавающих в свинце. Их положение поддерживается сочетанием сил плавучести и динамического напора восходящего потока. Развитие данной концепции может поспособствовать решению проблем, связанными с засорением теплообменных каналов и обеспечивать дополнительную естественную безопасность реактора. Возникает возможность установить под активной зоной специальную ступенчатую структуру, рис. 1. В случае остановки циркуляции теплоносителя, шаровые ТВЭЛы, опускающиеся на дно, рассеются по разным уровням, и реактивность реактора упадет.

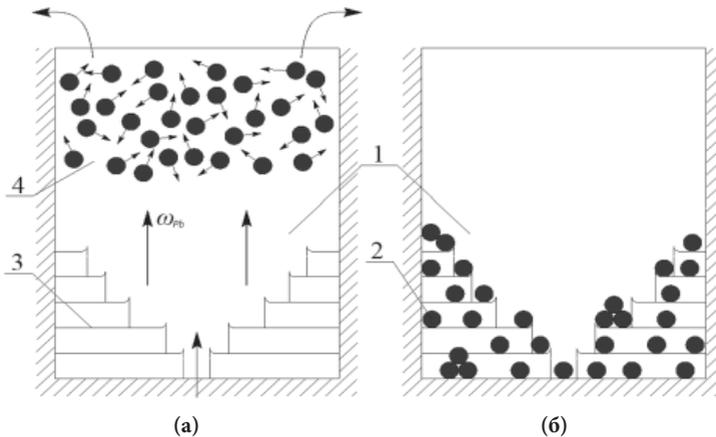


Рис. 1. Активная зона до остановки циркуляции теплоносителя (а) и после (б).
1 — теплоноситель, 2 — шаровой ТВЭЛ, 3 — ступенчатая структура,
4 — псевдооживленная структура

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.

У.А. Грузинцева, студ.; рук. И.А. Молотова, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ГОРЯЧИХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ

Работа направлена на экспериментальное изучение теплообмена при охлаждении высокотемпературных тел в недогретых жидкостях. Практическое применение полученных результатов может быть полезно в инженерных приложениях, где рассматриваемый процесс оказывает влияние на эффективность теплообмена.

Рабочими образцами являются цилиндры длиной 40–50 мм и диаметром 10 мм, выполненные из различных металлов. Экспериментальные исследования проводятся при различных давлениях [1]. Эксперименты проводятся в жидкостях с различными теплофизическими свойствами (вода, этанол). Для измерения температур в образцах заделываются центральная и поверхностная термопары. В процессе экспериментов получены зависимости температур от времени — термограммы охлаждения.

Установлено, что на переход к интенсивному режиму охлаждения оказывают влияние теплофизические свойства охлаждающих жидкостей (теплота парообразования, вязкость, поверхностное натяжение) и охлаждаемых поверхностей (тепловая активность). Так, при охлаждении тел с низкой тепловой активностью наблюдается интенсификация процесса (при сравнении характеристик охлаждения циркониевых и медных образцов).

Для расчета отводимых в эксперименте тепловых потоков решается обратная задача теплопроводности в программе Ansys Fluent. В процессе решения осуществляется восстановление температурных полей с использованием данных по температурам, полученных в эксперименте.

Полученные результаты температур перехода к интенсивному режиму охлаждения сопоставляются 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.

*В.Д. Гайдаенко, асп., Э.А.Х. Бсуль, асп.;
рук. В.Д. Локтионов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАПЛАВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕНА НА ЕГО ГРАНИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В УСЛОВИЯХ СТРАТИФИКАЦИИ РАСПЛАВА ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В ЯЭУ

Представлен анализ влияния температурных условий на боковой поверхности слоя расплава стали, подогреваемого снизу, на характеристики теплообмена (значения чисел Нуссельта, тепловые потоки, температура слоя) на его граничных поверхностях в условиях тяжелой аварии (ТА) в случае формирования стратифицированной ванны расплава [1] внутри корпуса ядерного реактора. Анализ температурного состояния слоя и условий теплообмена на его границах выполнялся с использованием модифицированных соотношений для чисел Нуссельта [2] и корреляций для средней температуры по объему слоя. Полученные результаты показали влияние температуры (T_{sw}) боковой поверхности слоя на величину фокусирования (K_f) тепловой нагрузки на боковой поверхности слоя. Так, изменение температуры боковой поверхности слоя от 1000 до 2100 °С приводит к увеличению K_f от ~2.5 до 3.5 (для аспектного отношения h/R равного 0.1) при сопоставимых условиях температурного состояния нижней и верхней границ слоя. Значительное влияние температурных условий на боковой поверхности наблюдается для плотности теплового потока на нижней поверхности слоя, величина которого может изменяться более чем на десятки процентов в указанном выше диапазоне изменения величины T_{sw} . Также, в работе выполнен сравнительный анализ полученных результатов с результатами CFD моделирования, показавший удовлетворительное соответствие между ними. Результаты работы могут быть востребованными при анализе тяжелых аварий в ЯЭУ и в расчетных программах, предназначенных для выполнения подобного анализа.

Литература

1. **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.
2. **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.

А.П. Яковец, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АКУСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ УДАРЕ КАПЛИ О СИЛЬНО НАГРЕТУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

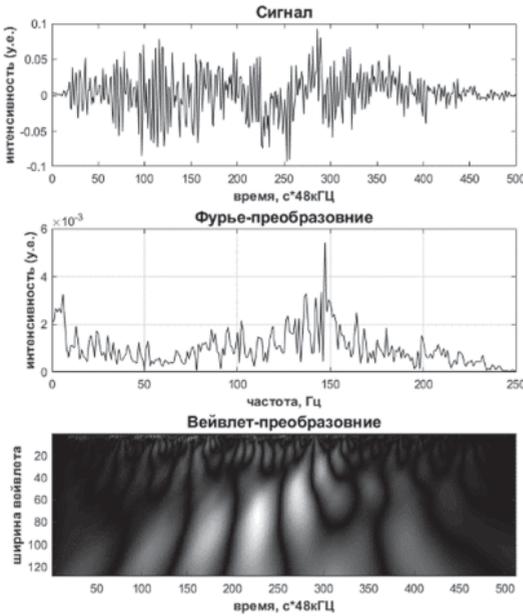


Рис. 1. Акустический сигнал процесса соударения при 190°С и его Фурье- и вейвлетпреобразования

останавливается и затем отталкивается от поверхности из-за избыточного давления в паровом микрослое, реализуя своеобразный динамический эффект Лейденфроста.

Вторая гипотеза утверждает, что при сильном сближении капли с перегретой поверхностью она не успевает прогреться и касается металла, после чего, через определённое время, тонкий слой взрывным образом превращается в пар, создавая избыточное давление, которое разрывает нижний слой капли. В результате капля отталкивается от поверхности, получая импульс. Во многом похожая гипотеза была высказана в [1].

Для рассмотрения гипотез, была проведена серия экспериментов по записи и анализу звука удара капель воды о сильно нагретую поверхность в диапазоне от 140 до 650°С. На рис. 1 можно увидеть, что вейвлет-преобразование, в отличие от Фурье-преобразования, позволяет выявить структуру процесса соударения.

Литература

1. В.В. Глазков, Р.А. Дуплянкин, А.А. Ильяхин. Вскипание жидкой пленки при столкновении водяной струи с нагретой стальной поверхностью // Журнал технической физики. — 2022. — Т. 92, вып. 4. — С. 533–539.

Актуальность быстрого охлаждения сильно нагретых поверхностей велика, особенно в промышленности, например, при обработке металлов. В металлургии для интенсивного охлаждения часто используют ударные струи. Для эффективного охлаждения важно понимать механизм столкновения жидкости с горячей поверхностью. Рассматриваются две гипотезы о данном взаимодействии.

Первая гипотеза предполагает, что при приближении капли к сильно нагретой металлической поверхности происходит интенсивное испарение, и между каплей и поверхностью образуется паровой слой. Давление в этом слое возрастает, вызывая торможение капли. В итоге капля

С.Г. Толушкин, студент;
рук. И.С. Антаненкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ОРС-УСТАНОВКИ

Для оценки эффективности использования регенерации были рассчитаны КПД ОРС-циклов на пентане C_5H_{12} (табл. 1). Анализ полученных результатов расчета показал, что КПД цикла с регенерацией выше, поэтому внедрение регенеративного теплообменника в схему установки целесообразно.

Регенеративным теплообменник называется, исходя из его роли в термодинамическом цикле ОРС-установки, так как он обеспечивает внутрицикловую передачу (регенерацию) теплоты. По конструкции данный теплообменный аппарат является рекуперативным. Наиболее удачной конструкцией для регенеративного теплообменника ОРС-установки может являться пластинчато-ребристый аппарат (рис. 1). Его использованию для этой цели способствуют повышенные требования к компактности аппарата, диапазоны рабочих параметров фреонов и высокая эффективность теплообмена.

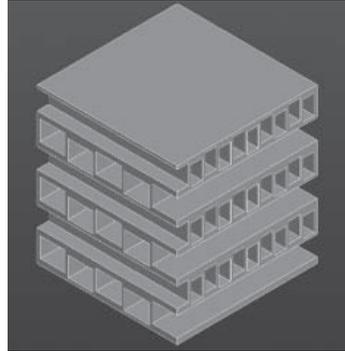


Рис. 1. Принципиальная конструкция пластинчато-ребристого теплообменника

Таблица 1. Оценки КПД циклов Ренкина на пентане

Без регенерации			С регенерацией		
$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	КПД, %	$t_{\text{конд}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	КПД, %
30	50	4,63	30	50	4,68
30	70	8,21	30	70	8,59
30	90	11,01	30	90	11,92
30	110	13,19	30	110	14,75
30	130	14,90	30	130	17,16
30	150	16,22	30	150	19,16

Зачастую одним из ключевых параметров для ОРС-установок является компактность конструкции, следовательно, имеет смысл проектировать теплообменник, имеющий минимальную теплопередающую поверхность для обеспечения заданных параметров рабочего вещества. Следовательно, критерием окончания расчета является условие будут являться максимальный коэффициент теплопередачи при приемлемой величине гидравлических сопротивлений потокам в каналах теплообменника.

Д.С. Писарев, студент;
рук. И.С. Антаненкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЕТ ПЛАСТИНЧАТОГО КОНДЕНСАТОРА

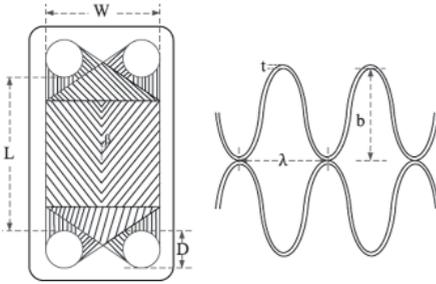


Рис. 1. Структурная схема теплообменной пластины и поперечный разрез секции

При проектировании аппаратов для ОРС-установки большое значение имеют размеры аппаратов и эффективность их работы.

Для обеспечения минимальных размеров конденсатора имеет смысл использовать пластинчатый теплообменник с теплообменной поверхностью шевронного типа (рис. 1). При разработке конденсатора такого типа необходимо, чтобы его характеристики позволяли обеспечивать максимальную интенсивность тепло-

обмена. Критерием окончания конструкторского расчета в таком случае будет являться максимальный коэффициент теплопередачи при оптимальных площади теплообмена и величине гидравлических сопротивлений потокам в каналах теплообменника.

Основные результаты расчетов по методике [1] с отдельным рассмотрением участка охлаждения пара и участка конденсации, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета

Вид пластины	ПР-0.5Е	ПР-0.5М
α (по воде), Вт/(м ² ·К)	6650	5100
α (по пентану), Вт/(м ² ·К)	2200	1800
k , Вт/(м ² ·К)	1500	1240
F , м ²	340	415
Δp , кПа	34	11

Литература

1. Luo J., Lu P., Chen K., Luo X., Chen J., Liang Y., Yang Z., Chen Y. Experimental and simulation investigation on the heat exchangers in an ORC under various heat source/sink conditions // Energy. 2023. Elsevier, vol. 264(C). DOI: 10.1016/j.energy.2022.126189

А.А. Толпегин, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЛНЫ ЯДЕРНОГО ГОРЕНИЯ В ПЕРСПЕКТИВНОМ БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ С ТЯЖЁЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В последнее десятилетие возрос интерес к так называемым реакторам 5-го поколения, отличающимся от других своей высокой степенью безопасности и эффективностью использования ядерного топлива на основе природного, необогащенного урана. Одним из реакторов 5-го поколения является реактор бегущей волны (Traveling wave reactor или TWR) [1].

Главным отличием TWR является устройство активной зоны (далее АЗ), в которой ядерная реакция протекает лишь в ограниченной области [2]. Для данного реактора характерны нейтронные потоки высокой интенсивности, на два порядка выше, чем в других быстрых реакторах.

Топливом для TWR служит природный уран, заключенный в стальном шаровом ТВЭЛ (1), рис. 1, находящимся в состоянии нулевой плавучести в теплоносителе (2). Для остановки волны горения (3) организуется непрерывное пополнение свежих ТВЭЛ (4) и убыль отработанного топлива (5).

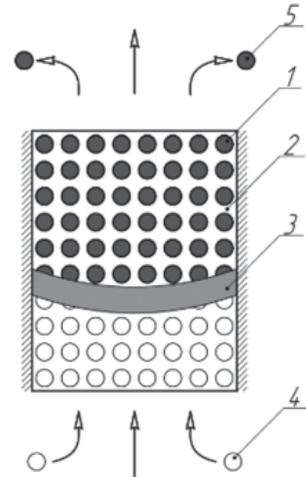


Рис. 1.

В данной работе моделировался процесс инициализации ядерной реакции и движения зоны выгорания в TWR. Уравнения выгорания в рассматриваемых цепочках ядерных превращений были сведены к численному решению двумерных балансовых уравнений нестационарной диффузии с источниковыми членами. С учётом специфики устройства АЗ доказана возможность существования волнового процесса в реакторе. Проведена обработка полученных данных и их сравнении с результатами работы [2].

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. А.Е. Помысухина, Ю.П. Сухарев, Г.Н. Власичев Реактор с быстрым спектром нейтронов на основе волны ядерного горения в торий-урановом топливном цикле // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. — 2020. — № 1. — С. 37–48. — DOI 10.26583.

Б.А. Кучеров, студент;
рук. Е.Е. Устюжанин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКЕЙЛИНГОВЫХ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПЛОТНОСТЬ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ SF_6

В работе рассмотрены комплексы, которые содержат свойства гексафторида серы (плотность жидкости (ρ_l), плотность газа (ρ_g)) на линии насыщения и представляют собой параметр порядка (f_s), средний диаметр (f_d), комплекс $ur = f_d/f_s$ и др. Исследуется ряд уравнений ($\Delta\rho_l(\tau)$, $\Delta\rho_g(\tau)$, и др.), ориентированных на теплофизические (ТФ) расчеты в широкой окрестности критической точки (КТ) SF_6 , здесь $\Delta\rho_l$, $\Delta\rho_g$ — относительные плотности, $\tau = (T - T_c)/T_c$ — относительная температура, T_c — температура в КТ.

Цель нашей статьи заключается в том, чтобы получить, во-первых, оценку погрешности (ρ_l , ρ_g , T) данных для SF_6 в диапазоне ($2 \cdot 10^{-8} < \tau < 10^{-2}$); в этом ТФ расчете намечено использовать надежные опытные (ρ_l , ρ_g , T) величины и рекомендации скейлинговой теории критических явлений (СТ). Во-вторых, намечено численно оценить некоторые термодинамические комплексы ($ur = f_d/f_s$, $Z_l = \Delta\rho_l/f_s$, $Z_g = \Delta\rho_g/f_s$ и др.) в указанной области температур.

В соответствии с выбранной целью авторами рассматривается ряд задач. К методическим разработкам относятся: а) формирование исходного массива, содержащего надежные опытные (ρ_l , ρ_g , T) данные в интервале $2 \cdot 10^{-8} < \tau < 0.3$; б) выбор моделей ($f_s(\tau)$, $f_d(\tau)$), в) построение эмпирических уравнений ($Z_l(x_1, x_2, \tau)$, $Z_g(x_1, x_2, \tau)$), которые имеют простую структуру и содержат регулируемые коэффициенты (x_1, x_2), г) создание методики и кода, нацеленных на поиск коэффициентов (x_1, x_2).

Для эмпирических уравнений авторы выбирают аргумент $ureff = x_1\tau^\beta$ и следующую форму:

$$Z_l = 1 + ur_{eff} + x_2 ur_{eff}^3, \quad Z_g = 1 - ur_{eff} - x_2 ur_{eff}^3, \quad (1)$$

где (x_1, x_2) — регулируемые параметры, β — критический показатель, связанный с СТ.

Результаты ТФ расчетов, сделанных в заключительной части статьи, показывают: а) вычислены коэффициенты (x_1, x_2), б) с помощью комплексов (1) получены расчётные (ρ_l , ρ_g , T) данные в интервале $2 \cdot 10^{-8} < \tau < 0.3$ для SF_6 , в) выполнено графическое сравнение комплексов (1) с аналогичными комплексами, которые опираются на (ρ_l , ρ_g , T) данные, представленные в литературных источниках.

О.Ю. Савушкин, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. ИТФ

ПАРАМЕТРЫ ЦИРКУЛЯЦИИ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗЛИФТНОГО НАСОСА В КАЧЕСТВЕ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА

Рассматривается жидкометаллический циркуляционный контур, движение в котором обеспечивается газлифтным насосом. Данная постановка задачи моделирует первый контур быстрого реактора с ЖМТ БРЕСТ ОД-300. Контур состоит из подъемной и опускной труб, газлифтного насоса и интегрального гидравлического сопротивления. Данное сопротивление моделирует теплообменник и активную зону. Параметры сопротивления рассчитаны для номинальных условий работы реактора БРЕСТ.

Структура контура (рис. 1): две трубы: подъемная (1) и опускная (2), обе диаметром 3 метра и высотой 6 метров. Сви́нец направляется в опускную трубу (2), а затем поднимается по подъемной трубе (1). На расстоянии h от нижнего среза подъемной трубы (1) в металл инжектируется аргон, подаваемый от компрессора (5).

Разработана система уравнений для расчета расхода и давления в контуре, аналогично [1]. Предварительные результаты докладывались на [2].

Полученные результаты показали, что использование газлифтного насоса в качестве ГЦН на реакторе БРЕСТ ОД-300 является возможным, рост энергопотребления ГЦН возрастает в 2.5 раза, но является относительно умеренным, и данная замена выглядит перспективной.

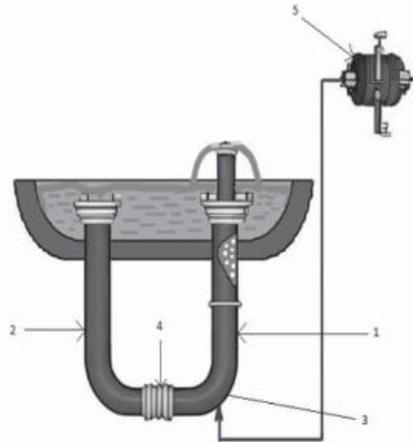


Рис. 1. Циркуляционный контур

Литература

1. Simulation of the gas-lift effect for lead and lead-bismuth coolants in HYDRA-IBRAE/LM thermohydraulic code Ya.V. Grudtsyn, V.M. Alipchenkov, N.A. Mosunova, O.H. Ilyasova, M.S. Morkin.
2. Савушкин О.Ю., В.В. Глазков, Газлифт как альтернатива ГЦН для быстрых реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: XXX межд. 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. С. 916.

К.С. Забелина, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ПРИМЕСЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

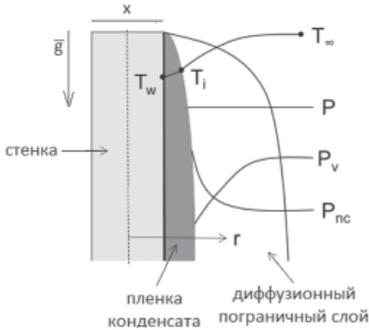


Рис. 1. Постановка задачи

Получение новых данных о процессах конденсации пара из парогазовой смеси с помощью современных методов компьютерного моделирования необходимо для совершенствования существующих методик проектирования пассивных систем безопасности АЭС.

В настоящей работе исследуется теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси на вертикальной стенке в присутствии силы тяжести. Данная задача является модельной (рис.1) и позволяет описать конденсацию на вертикальных стенках и трубках. В литературе накоплено большое

количество экспериментальных данных, которые позволяют провести детальную верификацию разработанной математической модели. Для валидации привлекались данные работы [1], в которой рассматривалась конденсация пара на стенке прямоугольного канала (0.6 м на 0.5 м) длиной 2 м. Рассмотрены режимы конденсации при различном сочетании режимных параметров. Обсуждаются особенности распределения интенсивности конденсации по высоте. Моделирование проводилось с использованием открытого CFD-кода ANES [2].

Литература

1. Cheng X. et al. Experimental data base for containment thermalhydraulic analysis // Nuclear engineering and design. 2001. V. 204. № 1–3. P. 267–284.
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 14.11.2024).

*Д.С. Трегуб, студ. (НИУ «МЭИ»);
рук. И.А. Мельников, к.т.н.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

МЕХАНИЗМЫ КОРРОЗИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВНУТРИКОРПУСНОМУ УДЕРЖАНИЮ

В рамках анализа внутрикорпусного удержания расплава, одним из главных факторов является остаточная толщина корпуса реакторной установки. Она зависит от многих факторов, например тепловых условий или физико-химического взаимодействия с кориумом, которое исследовалось в ходе экспериментов проекта МНТЦ METCOR [1–2]. В ходе экспериментов было установлено, что коррозия при взаимодействии легкоплавкого и тугоплавкого сверхстехиометрического расплава с корпусом реакторной установки происходит по механизму окисления, формируется оксидная пленка, которая и является слоем коррозии. В начале тяжелой аварии, когда расплав из материалов активной зоны падает на дно корпуса РУ, предполагается, что если нет связи с ГО, то атмосфера над расплавом будет инертной, в результате было необходимо проанализировать кинетику коррозии. Было установлено, что коррозия при взаимодействии недоокисленного кориума С-30 — С-100 происходит по механизму растворения.

Модель описания коррозии по механизму окисления, предложенная в работе [1], проверена на полученных экспериментальных результатах погрешность составляет не более 35%. Модель описания коррозии по механизму растворения, рассмотренная в работе [2], предполагает зависимость растворения от корня разности температур.

В настоящей работе предложены два модуля описания коррозии, первый основан на модели рассмотренной в работе [1], второй модуль представляет описание растворения в соответствии с физикой процесса и получена зависимость для описания такого типа коррозии на основе уравнения А.Н. Щукарева.

Полученная зависимость в первом приближении показывает хорошее согласие с экспериментальными результатами. В целом, данная модель является более физически обоснованной по сравнению с предыдущей.

Литература

1. S.V. Bechta, V.B. Khabensky, V.S. Granovsky et al. VVER Vessel Steel Corrosion at Interaction with Molten Corium in Oxidizing Atmosphere. Nucl. Eng. Des. 239, 1103–1112. 2009.
2. Bechta, S.V., Khabensky, V.B., Granovsky, V.S., et al. Experimental study of interaction between suboxidized corium and reactor vessel steel. In: Proceedings of the ICAPP' 06, Reno, USA. 2006.

Э.А.Х. Бсуль, асп., Я.А. Горбунова, студ.;
рук. В.Д. Локтионов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ФОКУСИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ СЛОЯ РАСПЛАВА СТАЛИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА ЕГО ГРАНИЦАХ ПРИ СТРАТИФИКАЦИИ РАСПЛАВА КОРИУМА В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В ЯЭУ

Представлен анализ влияния температурных условий на границах слоя расплава стали, подогреваемого по его нижней поверхности, на величину коэффициентов фокусирования тепловой нагрузки (K_f), а также на параметры теплообмена (числа Нуссельта и др.) на границах слоя. Анализ проводился с использованием модифицированных соотношений [1, 2] для чисел Нуссельта. Также, при выполнении анализа использовалась корреляция для средней по объему температуры слоя расплава. Подобный слой стали может сформироваться вследствие стратификации расплава при тяжелой аварии (ТА) [1, 2] в ЯЭУ, а течение расплава в подобном слое происходит в условиях естественной и смешанной конвекции при высоких (свыше $\sim 10^7$) числах Рэлея. Результаты анализа показали значительное влияние на величину K_f как геометрических размеров $a=h/R$ (h, R — толщина и радиус слоя) слоя, так и температурного состояния его граничных поверхностей, что является новым фактом, который раньше не принимался во внимание при выполнении подобных исследований. Определяющее влияние на величину K_f оказывают разности температур между нижней и верхней поверхностями слоя, а также между нижней и боковой его поверхностями. Наиболее сильное влияние наблюдается в области малых (до 0.2) значений параметра h/R , где величина K_f варьируется от ~ 0.8 до 6. Для ряда расчетных случаев выполнялось сравнение полученных результатов с данными CFD моделирования (код ANES), показавшее хорошее их соответствие.

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).
2. **В.Д. Локтионов** Модифицированное соотношение для чисел Нуссельта на боковой поверхности плоского металлического слоя расплава, нагреваемого снизу // Теплоэнергетика, № 12, 2023.

Л.Г. Полянский, Н.Д. Нечаев, Н.П. Сизинцев, студенты;
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ НА ТЕПЛОТДАЧУ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ НА ТРУБЕ С ГИДРОФОБНЫМ ПОКРЫТИЕМ

В настоящей работе исследуется влияние неконденсирующихся газов на теплоотдачу при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием.

Разработанное покрытие получено с помощью пескоструйной обработки и последующего нанесения наночастиц углерода, которые закрепляются на поверхности с помощью пасты [1]. Размер частиц составляет 50 нм.

Измерены краевые углы на поверхности конденсации методом лежащей капли. Краевой угол для медной трубки без покрытия составлял 77 градусов, для трубки с разработанным покрытием — 154 градуса.

На рис.1 представлены, полученные расчетные и опытные данные в виде зависимости коэффициента теплоотдачи от газосодержания при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием и без покрытия при температурном напоре $\Delta T = 60^\circ\text{C}$.

Расчет теплоотдачи при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием проведен по уравнению, предложенному в [2], и без покрытия — по формуле Нуссельта с поправкой на содержание неконденсирующихся газов [2]. Установка и результаты опытов описаны в работе [2].

Теплоотдача при конденсации на трубе с покрытием снижается менее резко с увеличением газосодержания, чем на трубе без покрытия.

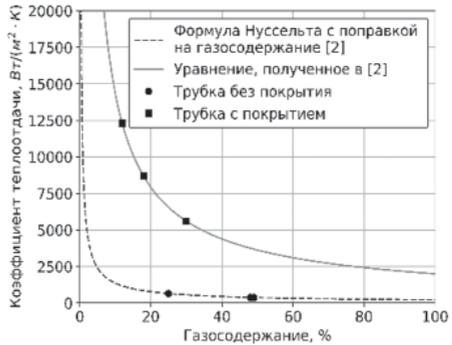


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от газосодержания при конденсации на трубе с гидрофобным покрытием и без покрытия, при температурном напоре $\Delta T = 60^\circ\text{C}$

Литература

1. Кузма-Кичта Ю.А., Чугунков Д.В., Лавриков А.В., Способ формирования комбинированной супергидрофобной структуры поверхности металла: пат. Российская Федерация / № 2790384; 2023 г.
2. Ю.А. Кузма-Кичта, Н.С. Иванов, Д.В. Чугунков, Исследование локальной и средней теплоотдачи при конденсации на трубе с микро- и наноразмерным покрытием, ТПТ. 11. 2022 г.

*Д.А. Бердюгин, студ.;
рук. Я.И. Листратов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРУГЛОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ОБОГРЕВОМ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В настоящий момент актуальной темой является исследование гидродинамики и теплообмена жидких металлов в условиях воздействия полей внешних сил. Сильное магнитное поле, а также большие тепловые нагрузки, которые наблюдаются в термоядерных реакторах [1], оказывают существенное влияние на характер теплообмена и гидродинамику жидкого металла в каналах blankets и дивертора.

Аномально высокие квазипериодические пульсации температуры ртути при смешанной турбулентной конвекции и воздействии поперечного магнитного поля в горизонтальной трубе, подогреваемой снизу, были экспериментально обнаружены в 2011 г. [2]. Эксперименты проводились при различных числах Рейнольдса (Re), Грасгофа (Gr) и Гартмана (Ha). Подобное исследование проводилось также на усовершенствованной установке в Объединенном институте высоких температур РАН [3]. Отличие данной установки от [2] заключается в увеличенном по длине магнитном поле, что может повлиять на характер течения ртути и динамику температурных пульсаций.

Настоящая работа посвящена прямому численному моделированию (DNS) течения жидкого металла в конфигурации установки из работы [3]. Режимные параметры для расчётных моделей были взяты из данных по эксперименту: $Re = 7000 - 20000$, $Gr = 2 - 9 \cdot 10^7$, $Ha = 0 - 1000$.

Литература

1. **Smolentsev S.** Physical background, computations and practical issues of the magnetohydrodynamic pressure drop in a fusion liquid metal blanket // *Fluids*. 2021. Vol. 6. P. 110.
2. **L.G. Genin, V.G. Zhilin, Y.P. Ivochkin, et al.** Temperature fluctuations in a heated horizontal tube affected by transverse magnetic field // *Proc. Fundamental and Applied MHD, 8th International Pamir Conference, Borgo, Corsica, 2011*. P. 37–41.
3. **Рознин И.М.** ПУЛЬСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В МГД ПОТОКЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНО ОБОГРЕВАЕМЫХ КАНАЛАХ // *РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА*. — 2020. — С. 815–815.

Е.С. Готовцева, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ УДАРЕ ГАЗОВЫХ СТРУЙ О ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ

В работе изучается взаимодействие двух газовых струй, претерпевающих удар о поверхность жидкости, а также сопутствующие этому удару явления в жидкости. Удар струй о поверхность жидкости широко применяется в металлургическом производстве при конвертерной плавке и является важным для задачи охлаждения стальных поверхностей при закалке [1]. Установлено, что в процессе закалки возникают тепловые потоки около 5 МВт/м^2 , что требует мощного отвода тепла от возникающей над поверхностью паровой пленки вглубь жидкости. Это невозможно выполнить только с помощью теплопроводности. Интенсификация теплообмена может быть достигнута с помощью возникающих в жидкости над неровностями поверхности тороидальных вихрей. По мере развития течения, порожденного движением пара в пленке, вихри теряют устойчивость, что может привести к развитию интенсивного турбулентного движения.

Для экспериментального исследования данного явления на кафедре ИТФ МЭИ была создана экспериментальная установка и проведен цикл исследований с двумя струями воздуха, бьющими по нормали на поверхность воды. Диаметр каждой струи варьировался от 1 до 5 мм, скорость истекающего воздуха изменялась от 1 до 50 м/с. Взаимное расположение струй и расстояние между ними также варьировалось в широких пределах.

В процессе эксперимента измерялась скорость газа и форма каверн на поверхности жидкости, визуализировалось движение газа над поверхностью жидкости и движение жидкости под ней. Экспериментально и теоретически были определены параметры газового потока, когда форма каверны теряла устойчивость. Неустойчивость, возникающая при ударе о поверхность жидкости двух расположенных рядом струй воздуха, рассматривалась как неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Используя критерий неустойчивости для струй, было рассчитано критическое значение тангенциальной скорости газа. Полученные данные о характере возникающих течений, глубине и форме образующихся каверн в жидкости и параметры газового потока, при которых стенки каверны теряли свою устойчивость, сопоставлены с данными [1, 2].

Литература

1. **Ho Yong Hwang**. A study of impinging gas jets on liquid surfaces. Thesis.McMaster University. 2008.
2. **Miguel A. Barron**, Interaction between a liquid surface and an impinging gas jet // World J. of Engineering and Technology. 2021. 9. 793–803.

Е.А. Михайлова, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГЛАДКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

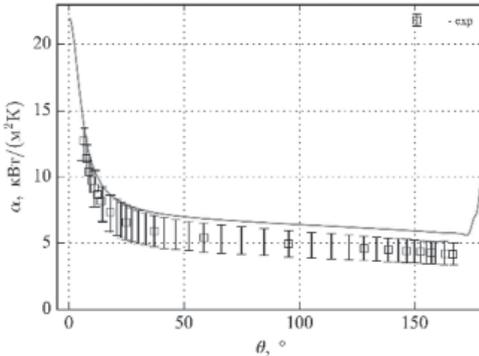


Рис. 1. Распределение коэффициента теплоотдачи по периметру трубы. Линия расчет, точки — эксперимент

проблем подобного класса актуальной задачей. В современных численных работах не всегда проводится четкая граница между режимами с кипением и без кипения. Например, в [1] моделируется режим из [2], где наблюдалось интенсивное кипение, но этот фактор никак не учитывается.

В данной работе выполнено моделирование режимов из работы [2] методом VOF с использованием упрощенной постановки задачи: массообмен на межфазной границе не учитывается, а температура межфазной поверхности считается постоянной и равной температуре насыщения. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных представлено на рис. 1.

Литература

1. Zhao C.Y., Liang L., Yang L., Yang L., Fang-fang Zhang, Zhang F., Karmakar A., Qi D., Jiang J., Markides C.N., Guo M. Modelling of evaporative falling-film heat transfer over a horizontal tube // Applied Thermal Engineering. 2024. V. 255. P. 123997.
2. Parken W.H., Fletcher L.S., Sernas V., Han J. Heat Transfer Through Falling Film Evaporation and Boiling on Horizontal Tubes // Journal of Heat Transfer. 1990. Vol. 112. No. 3. pp. 744–750.

*И.Ф. Кулаков, студент;
рук. В.И. Артемов, к.т.н., доцент (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)*

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ У ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОБОГРЕВАЕМОГО ЦИЛИНДРА

В работе представлены результаты численного моделирования естественной конвекции у горизонтального обогреваемого цилиндра диаметром 54 мм, расположенного в воде. На поверхности цилиндра задавалась постоянная плотность теплового потока. Число Рэлея, рассчитанное по диаметру цилиндра, составляло $7,94 \cdot 10^7$.

Численное моделирование осуществлено с помощью CFD-кода ANES [1]. Расчеты проводились методом осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS) с различными моделями турбулентности, а также методом моделирования крупных вихрей (LES) с применением различных разностных схем и моделей подсеточной вязкости.

Приведено сравнение полученных чисел Нуссельта в различных точках на поверхности цилиндра, распределения температуры, скорости и пульсационных характеристик в следе за цилиндром с результатами экспериментов [2, 3] и результатами, полученными в коде ANSYS FLUENT [4].

Литература

1. Код ANES [Электрон. ресурс.] <http://anes.ch12655.tnweb.ru/>
2. **Stig Grafsrønningen, Atle Jensen.** Simultaneous PIV/LIF measurements of a transitional buoyant plume above a horizontal cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012).
3. **Stig Grafsrønningen, Atle Jensen, B. Anders Pettersson Reif.** PIV investigation of buoyant plume from natural convection heat transfer above a horizontal heated cylinder// International Journal of Heat and Mass Transfer 54 (2011).
4. **Haiteng Ma, Li He.** Large eddy simulation of natural convection heat transfer and fluid flow around a horizontal cylinder// International Journal of Thermal Sciences 162 (2021).

А.А. Опросичев, П.В. Ушаков, студ.; И.М. Молотов, асп.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНЫ CAPSTONE C30

В рамках работ по созданию цифрового двойника (ЦД) газовой микротурбины (ГМТ) Capstone C30 в докладе представлено моделирование проектного режима ее работы. ГМТ реализует цикл Брайтона, где рабочим телом является воздух, а в качестве топлива используется природный газ.

Для достижения целей моделирования выполнены следующие задачи:

- 1) расчет теплового баланса камеры сгорания (КС), регенеративного теплообменного аппарата (ТА) и тепловой расчет энергоустановки в целом;
- 2) численное моделирование подсистемы ТА, теплогидравлической модели ГМТ Capstone C30 для проектных условий эксплуатации, которая учитывает балансовые соотношения для расхода топлива;

Расчеты проводятся с использованием программного средства (ПС) MathCAD с интегрированными свойствами веществ из базы данных REFPROP NIST. Модель реализована с использованием отечественной платформы Simintech, предназначенной для разработки математических моделей, алгоритмов управления и пользовательских интерфейсов.

В теплогидравлических схемах ПС SimInTech решаются одномерные уравнения сохранения массы, импульса и энергии, а также уравнение нестационарной теплопроводности. Модель ГМТ [1] представляет собой пакет, состоящий из проектов схемы теплогидравлики (Рисунок), схемы управления и базы данных сигналов, а также используется высокоуровневый язык программирования SimInTech.

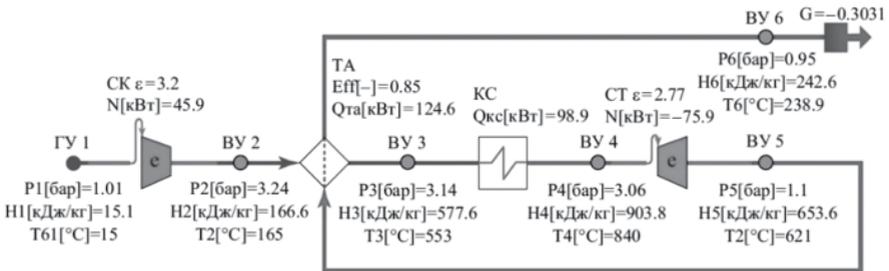


Рис. 1. Модель теплогидравлической части ГМТ, где ГУ, ВУ — граничный и внутренние узлы; СК — ступень компрессора; СТ — ступень турбины; ТА — регенеративный ТА; КС — субмодель КС, G — расход воздуха, кг/с

Литература

1. Соколов В.П., Молотов И.М., Пыткина Е.А., Опросичев А.А., Ушаков П.В. Разработка цифровой модели газовой микротурбины Capstone C30 // Новое в российской электроэнергетике. — 2024. — № 9. — С. 16–24.

И.В. Мухин, студ.; рук. Д.О. Дуников, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ PCT-ИЗОТЕРМ МЕТАЛЛОГИДРИДОВ

Водородная энергетика является одной из важных отраслей, которые необходимо активно развивать для борьбы с глобальным изменением климата. Хранение водорода является ключевой технологией, позволяющей развивать экономику, основанную на водороде и топливных элементах. Хранение водорода в виде обратимых гидридов металлов позволяет добиваться большой объемной плотности его аккумуляции. Исследования металлгидридных материалов направлены на улучшение как объемных, так и весовых характеристик, кинетики абсорбции/десорбции водорода и термодинамики реакций [1]. Основными характеристиками металлгидридов являются изотермы давление-концентрация (PCT).

В данной работе произведен расчет погрешности при измерении PCT-изотермы абсорбции и десорбции водорода при температуре 80°C для сплава $\text{LaNi}_{4.8}\text{Al}_{0.2}$.

Экспериментальные измерения производились при помощи метода Сиверта на установке УС150 которая позволяет производить измерение изотерм абсорбции и десорбции водорода для образцов водородпоглощающих материалов массой от 10 до 800 г при температурах от -30 до 400°C и избыточном давлении водорода до 150 бар [2].

Расчет погрешности вёлся с учетом влияния погрешности измерения объемов сосудов, температуры и давления в каждом из них. Поскольку методика является аддитивной погрешность накапливается в ходе измерения. Показано, что основной вклад в погрешность вносит неточность измерения давления при переходе к датчикам, работающим выше 1 МПа.

Литература

1. **Von Colbe J. B. et al.** Application of hydrides in hydrogen storage and compression: Achievements, outlook and perspectives //international journal of hydrogen energy. — 2019. — Т. 44. — № 15. — С. 7780–7808.
2. **Малышенко С.П., Романов И.А.** Исследование термодинамических свойств водородпоглощающего сплава $\text{LaFe}_{0.1}\text{Mn}_{0.3}\text{Ni}_{4.8}$ для систем аккумуляции и очистки водорода // Теплофизика высоких температур. — 2014. — Т. 52. — № 3. — С. 415–422.

А.В. Романюк, Н.Н. Жукова, студ.;
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, проф., д.т.н.,
Н.С. Иванов, ст. преп., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕРМОСИФОНЕ С УЛУЧШЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

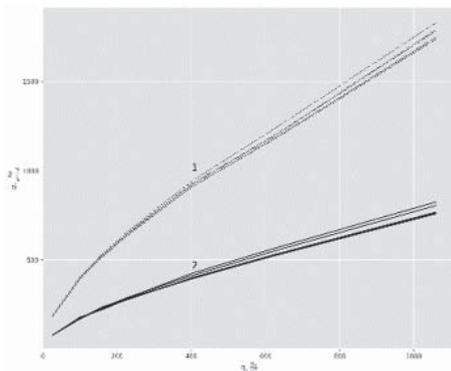


Рис. 1. Зависимость КТО от теплового потока
1 — со вставкой, 2 — без вставки

представлял собой теплообменник типа «труба в трубе» и охлаждался водой. На испарителе приварено 6 термопар для измерения температуры стенки, и 5 термопар на конденсаторе для определения температур фреона и охлаждающей воды. В качестве рабочей жидкости используется фреон R22. Модель термосифона изготовлена в ООО «Ньюфрост».

На рис. 1 показаны рассчитанные коэффициенты теплоотдачи в вертикальной трубе с естественной циркуляцией при кипении по формуле Кутепова-Стермана. Установлено, что в испарителе с капиллярной вставкой теплоотдача увеличивается на 61%.

Работа выполнена в рамках гранта ПНИ 2024–2026 гг. проект «Разработка термосифона для термостабилизации грунтов в районах вечной мерзлоты с управлением смачиванием»

Литература

1. Международная научно-практическая конференция «Управление тепловым режимом мёрзлых грунтов» МГУ, 10 апреля 2024 год, Москва.
2. **Безродный, М.К.** Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. — 2-е изд., доп. и перераб. — Киев: Факт, 2005. — 700 с.

*И.С. Ястребов, Д.М. Свашенко, О.В. Страшникова,
А.С. Смирнова, В.В. Кунецкий, студ.; А.С. Киселев, асп.;
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРСОДЕРЖАНИЯ ПРИ КИПЕНИИ ВОДЫ В МИКРОКАНАЛЕ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОСЪЕМКИ

В настоящее время практически отсутствуют данные по истинному паросодержанию при кипении в микроканале и крайне ограничены результаты исследования критических тепловых нагрузок.

В работе проведен анализ с помощью программы на LabVIEW данных [1] по пульсациям истинного объемного паросодержания

при кипении воды в микроканале с покрытием из наночастиц и без покрытия. На рис.1 представлены полученные пульсации паросодержания. Достоверность программы была подтверждена согласованием с результатами [1]. Написанная программа на каждом кадре считает отношение пикселей пара к размеру канала.

Получено, что нанесение покрытия из наночастиц увеличивает амплитуду пульсаций паросодержания.

Работа выполнена при поддержке гранта ПНИ-24/26-30.

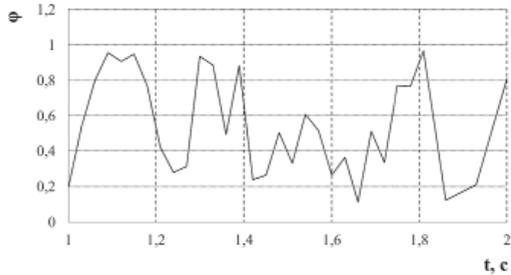


Рис. 1. Пульсации истинного объемного паросодержания

Литература

1. **М.В. Шустов** «Исследование кипения в микроканале с покрытием из наночастиц», Автореферат кандидатской диссертации, 2016.

Д.С. Семенюк, студ.; рук. Я.И. Листратов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕЧЕНИЕ РТУТИ В КАНАЛЕ С КОНВЕКЦИЕЙ

В работе моделируется вынужденное течение ртути в горизонтальном канале с подогреваемой нижней стенкой и приложенным неоднородным поперечным магнитным полем. Диапазон параметров рассмотрения задачи был расширен по сравнению с работой [1]: $Ha = 0 \div 1300$, $Gr = 10^7 \div 10^9$, $Re = 5000 \div 40000$. Распределение МП задается близким к созданному в эксперименте. Проведено сравнение результатов с данными, полученными на реальной экспериментальной установке, подробно описанной в работе [2].

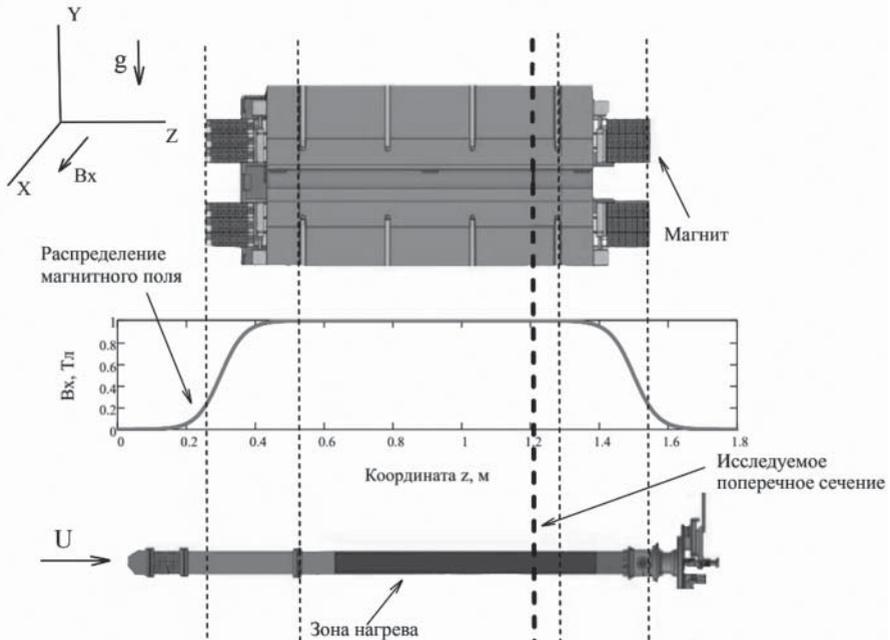


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и распределение МП по длине канала

Литература

1. R. Akhmedagaev, O. Zikanov, and Y. Listratov. Magnetoconvection in a horizontal duct flow at very high Hartmann and Grashof numbers. *J. Fluid Mech.* (2022), vol. 931, A29.
2. Belyaev I., Krasnov D., Kolesnikov Y., Biryukov D., Chernysh D., Zikanov O., & Listratov Y. Effects of symmetry on magnetohydrodynamic mixed convection flow in a vertical duct. *Physics of Fluids.* (2020), 32(9), 094106.

П.В. Ушаков, А.А. Опросичев, студ.; И.М. Молотов, асп.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНЫ CAPSTONE C30

В рамках работ по созданию цифрового двойника (ЦД) газовой микротурбины (ГМТ) Capstone C30 в докладе представлена разработка цифровой модели. ЦД эксплуатируемой газовой микротурбины Capstone C30 создается в целях детального изучения физических процессов, реинжиниринга управляющей системы установки, обеспечения технической эксплуатации, проведения цифровых испытаний, системного анализа технологических связей, определения критических зон.

В рамках настоящего доклада приводится стадия разработки физической модели ЦД воспроизводящей частичную нагрузку, на основе ранее полученной модели проектного режима работы ГМТ [1], а также стадия разработки информационного обмена в режиме реального времени между цифровой моделью и реальным объектом.

Для получения цифровой модели газовой микротурбины выполнены следующие задачи:

- 1) интеграция реализованной численной модели ГМТ с физической установкой путем объединения в программном обеспечении SimInTech данных виртуального моделирования и экспериментальных данных в режиме реального времени;
- 2) разработана система управления цифровой модели в концепции конечных автоматов;
- 3) методом реинжиниринга управляющей системы установки воспроизведена последовательность запуска агрегатов и элементов установки в пусковом режиме ГМТ, а также сопоставлены результаты моделирования с экспериментальными данными в режиме реального времени.

Разработка ЦД осуществляется на базе отечественной платформы SimInTech, где решаются одномерные уравнения сохранения массы, импульса и энергии, а также уравнение нестационарной теплопроводности.

Литература

1. **Соколов В.П., Молотов И.М., Пыткина Е.А., Опросичев А.А., Ушаков П.В.** Разработка цифровой модели газовой микротурбины Capstone C30 // Новое в российской электроэнергетике. — 2024. — № 9. — С. 16–24.

К.С. Ковешников, студ.; В.И. Артемов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ RANS ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ НАТРИЯ В ТРОЙНИКОВОМ СОЕДИНЕНИИ

Неизотермическое смешение потоков жидкометаллического теплоносителя в тройниковом соединении может приводить к возникновению значительных термических напряжений в стенке трубы, что представляет угрозу разгерметизации всего контура. Для обеспечения безопасности эксплуатации РУ с жидкометаллическими теплоносителями необходимы детальные исследования процессов, происходящих в тройниковых соединениях, включающих и температурное состояние стенки трубы в зоне смешения.

В данной работе представлены результаты численного моделирования перемешивания разнотемпературных потоков жидкого натрия в тройниковом соединении при режимных параметрах [1], приведенных в таблице 1. Диаметр труб горячей и холодной веток, а также трубы коллектора был равен 39,5 мм, толщина стенки трубы составляет 1,45 мм. Холодный теплоноситель всегда подавался через боковую ветку.

Таблица 1. Параметры экспериментальных режимов [1]

Параметр	Режим 1	Режим 2
Re в горячей ветке	67786	56638
Re в холодной ветке	26689	43468
T в горячей ветке, К	477	459
T в холодной ветке, К	424	414

Моделирование проводилось с помощью кода ANES [2]. Задача решалась в нестационарной постановке. В качестве модели турбулентности использовалась k- ω модель с универсальными пристеночными функциями. Расчет проводился в приближении постоянных свойств натрия и материала труб.

Получены распределения температуры вдоль образующей внешней стенки трубы, распределения среднemasовых температур по длине канала, а также поля скорости и температуры в зоне смешения. Исследовано влияние турбулентного числа Прандтля на результаты расчетов.

Литература

- И. В. Колесниченко, Р. И. Халилов, А. В. Шестаков** Перемешивание разнотемпературных потоков жидкого натрия в трубопроводе за тройником // Теплоэнергетика. — 2023. — № 3. — С. 49–57.
- Код ANES** [Электрон. ресурс.] <http://anes.ch12655.tmweb.ru/>

Ю.А. Жукова, студ.;
 рук. Д.Н. Герасимов, д.ф.-м.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Исследуется электрический разряд в масле И-40А. используется источник напряжения до 30 кВ с током до 200 мкА. При подобных параметрах джоулево тепловыделение невелико, и молекулярная структура масла не нарушается, что позволяет производить спектроскопическую диагностику разряда.

Особый интерес представляет собой разряд в отдельной жидкой капле, висящей за счет сил поверхностного натяжения между двумя электродами. Спектр свечения данного разряда показан на рис. 1 и в основном соответствует люминесценции масла И-40А.

Помимо люминесценции, спектр содержит линию излучения, однозначно установить природу которой на данный момент затруднительно. Вероятно, это перекрывшиеся линии излучения иона кислорода на длинах волн 435.1260 нм и 435.1457 нм с одного и того же уровня $2s^2 2p^2(1D)3p$ (энергия уровня 28.509803 эВ). Любопытно, что в данном случае эта линия весьма яркая, а в других экспериментах она не наблюдается вообще.

При замораживании капли парами жидкого азота электрический разряд в капле не наблюдается. С одной стороны, данный результат вполне согласуется с представлениями о том, что для пробоя жидкости существенно образование паровой фазы. С другой стороны, это не вполне соответствует экспериментам по исследованию разряда в большом объеме.

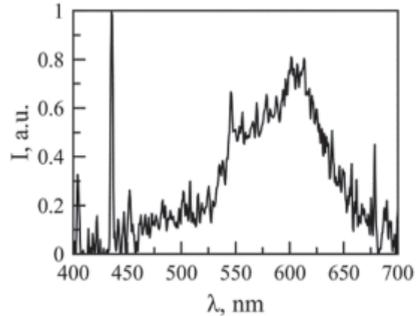


Рис. 1. Спектр излучения электрического разряда в одиночной капле

Д. Алхатиб, асп.; Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МИКРОКАНАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА

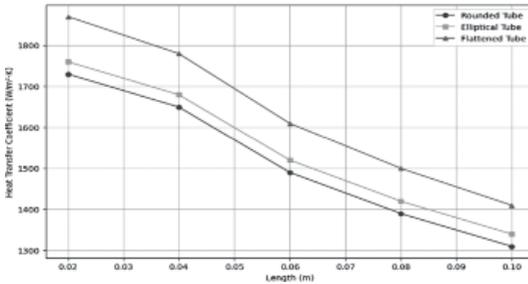


Рис. 1. Коэффициент теплопередачи в зависимости от длины для различных форм труб

В данной работе Пленочная конденсация, представляющая собой процесс фазового перехода пара в жидкость при контакте с охлажденной поверхностью, играет ключевую роль в промышленных приложениях благодаря своей эффективности теплообмена и энергетическим преимуществам [1]. В данном исследовании изучается пленочная конденсация насыщенного пара в микроканалах круглых труб диаметром 4 мм и длиной 10 см, а также их эллиптических и уплощенных модификаций. Поверхность одинаковая для всех форм труб, Метод объемов жидкости (VOF) применялся для анализа влияния температуры, давления, скорости, толщины пленки, расхода, коэффициента теплоотдачи и падения давления на эффективность процесса. С использованием программного обеспечения COMSOL было установлено, что скорость теплоотдачи возрастает на 3% для эллиптической формы и на 7% для уплощенной (по сравнению с круглой трубой) при разнице температур 1 К между поверхностью и паром, Рис. 1. Это исследование предоставляет ценные данные о формировании, росте и отделении пленки, а также о динамике теплопередачи и гидродинамическом сопротивлении, что способствует оптимизации процесса конденсации в промышленных системах.

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.

Д.В. Горбачев, студент;
рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ LES СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ СВИНЦА В ТРУБЕ

Представлены результаты численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена жидкого свинца в равномерно обогреваемой круглой трубе при стабилизированном течении с $Re=37700$, полученные методом LES.

Для моделирования использовались трехмерные безразмерные уравнения сохранения массы, импульса и энергии в нестационарной постановке с периодическими граничными условиями. Численные решения получены с помощью кода ANES [1] на неструктурированной сетке с анизотропным локальным дроблением ячеек. Слои пристеночных ячеек были адаптированы к цилиндрической поверхности стенки. Моделирование проводилось с помощью гибридной RANS/LES модели KDES с демпфирующими функциями Вольфштейна. Получены данные по осредненному профилю скорости и температуры, числу Нуссельта, среднеквадратическим пульсациям компонент скорости, реинльдсовым напряжениям, плотностям турбулентных потоков теплоты и турбулентному числу Прандтля. На рис. 1 рассчитанный профиль среднеквадратической пульсации продольной компоненты скорости сравниваются с данными прямого численного моделирования [2].

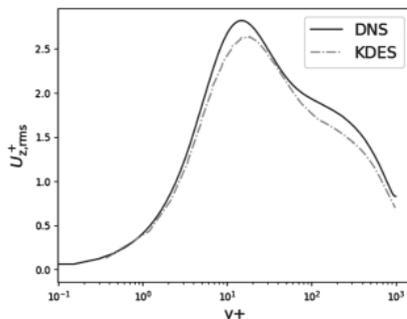


Рис. 1. Профиль среднеквадратической пульсации продольной компоненты скорости

Литература

1. Код ANES [Электрон. ресурс.] <http://anes.ch12655.tnweb.ru/>
2. El Khoury, G.K., Schlatter, P., Noorani, A. et al. Direct Numerical Simulation of Turbulent Pipe Flow at Moderately High Reynolds Numbers. Flow Turbulence Combust. 91, 475–495 (2013).

*Р.Ф. Рахимов, М.А. Гуреев, студенты;
рук. Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ТУРБУЛЕНТНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ ГАРТМАНА

Концепция гибридных проектов — объединение двух технологий получения энергии: термоядерной и ядерной. Существуют две концепции: с гетерогенным типом топлива и с гомогенным [1, 2]. Во втором случае в качестве теплоносителя планируется использовать расплавы солей с растворением топливных ядерных компонентов.

Для исследования гидродинамики рассматривается имитатор расплава соли — 20% водный раствор гидроксида калия. Основная сложность исследования щелочного раствора — получения высоких чисел Гартмана (больше 100) в условиях эксперимента на МГД-стенде ОИВТ РАН РК-3. В работе приведены результаты с увеличенной среднемассовой температурой до 70–80°C на участке с однородным магнитным полем и с увеличенным диаметром трубы в условиях РК-3, при этом безразмерное число не превысило величину 50. Поэтому впоследствии проводились исследования с жидким металлом (ртути) в поперечном магнитном поле при малых числах Гартмана. Параллельно с экспериментами были изучены результаты численных расчетов в программе COMSOL Multiphysics 5.6 для 20% водного раствора гидроксида калия и для ртути. В отличие от классических результатов Гартмана на стабилизированном участке в магнитном поле, также рассматривалось распределение полей скорости и на границах МП.

Второй актуальный вопрос, который относится к МГД-исследованиям для растворов, — получение значений проводимости для водного раствора гидроксида калия под воздействием однородного магнитного поля. Возникла теория, что величина электропроводимости, приведенная в [3], из-за возникающих токов под воздействием МП увеличивает диссоциацию ионов и, как следствие, изменяет величину электропроводимости щелочного раствора.

Литература

1. **Azizov E.A. et al.** Tokamak based hybrid systems for fuel production and recovery from spent nuclear fuel // Atomic energy. — 2011. — Т. 110. — С. 93–98.
2. **Velikhov E.P. et al.** Nuclear power system based on fission and fusion reactors is the strategic line of nuclear power industry development // Physics of Atomic Nuclei. 2018. Т. 81. С. 981–987.
3. **Gilliam R.J. et al.** A review of specific conductivities of potassium hydroxide solutions for various concentrations and temperatures // International Journal of Hydrogen Energy. 2007. Т. 32. № 3. С. 359–364.

*М.А. Гуреев, Р.Ф. Рахимов, студенты;
рук. Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ В РАСШИРЕННОМ ДИАПАЗОНЕ ПАРАМЕТРОВ

Возможность использования расплавленных солей на основе фторидов в качестве рабочего тела в перспективных разработках атомных энергетических систем для новой технологической базы России требует решения нескольких ключевых научно-технических проблем. Эти проблемы связаны с разработкой надежных конструкционных материалов и изучением теплофизических характеристик теплоносителя. Решению последней проблемы во многом препятствовало отсутствие надежных систематизированных данных о физико-химических свойствах, специфике процессов теплопередачи и технологии эксплуатации перспективных составов расплавов фторидных солей.

Известно, что различные соотношения параметров исследуемого течения, такие как скорость течения, величина магнитного поля, степень нагрева, форма канала, неоднородность обогрева могут сильно влиять на течение [1]. На современном уровне техники все еще трудно получить точные параметры течения без полномасштабного исследования изучаемой конфигурации с использованием прямого численного моделирования или индивидуальных экспериментов, отражающих как геометрию проточной части, так и интересующие режимные параметры. Низкочастотные колебания потока являются серьезной проблемой для любого устройства. Возможным решением данной проблемы в этих условиях является управление потоком [2]. Особый интерес представляет возможность генерируемых вихрей подавлять или изменять естественно возникающие магнитоконвективные пульсации.

Для решения задачи объемного тепловыделения в стационарном потоке проводящей жидкости, предлагается использовать метод численного моделирования, реализованного посредством программной среды COMSOL Multiphysics, посредством которой был реализован расчёт.

Литература

1. **Belyaev I. et al.** Effects of symmetry on magnetohydrodynamic mixed convection flow in a vertical duct // *Physics of Fluids*. — 2020. — Т. 32. — № 9. — С. 094106.
2. **Gad-el-Hak M.** The taming of the shrew: why is it so difficult to control turbulence? // *Active Flow Control: Papers contributed to the Conference "Active Flow Control 2006"*, Berlin, Germany, September 27 to 29, 2006. — Springer Berlin Heidelberg, 2007. — С. 1–24.

А.Д. Букреева, асп.; рук. В.А. Грабежная, к.т.н.
(АО «ГНЦ – РФ ФЭИ», Обнинск)

ОСОБЕННОСТИ КРИЗИСА ТЕПЛООБМЕНА В ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ ТРУБЕ С ВЫСОКИМ ПЕРЕГРЕВОМ ПАРА

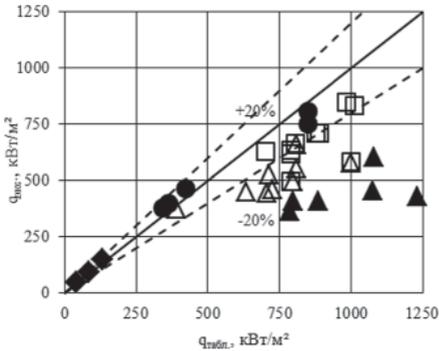


Рис. 1. Сравнение опытных данных о критическом тепловом потоке
данные [1]: □, △; данные [2]: ▲; данные [3]:
◆ — cos, ● — равномерное
рассеивается.

На наш взгляд, основная причина расхождений данных о кризисе теплообмена 1 рода, полученных на трубах с перегретым паром на выходе – наличие протяженной закризисной зоны и зоны перегрева в опытах [1, 2], в то время как в электрообогреваемых трубах из-за возможного пережога трубы кризис теплообмена возникал вблизи от выхода пароводяной смеси.

Литература

1. **Грабежная В.А., Михеев А.С.** К вопросу о теплогидравлической неустойчивости в парогенерирующих каналах, обогреваемых жидким металлом. ВАНТ. Серия Ядерно-реакторы не константы, 2022, вып. 1.
2. **France D.M., Carlson D., et al.** Dynamic stability experiments in sodium heated steam generators. Meeting on Liquid Metal in Energy Applications, Oxford, UK, 9 Apr. 1984.
3. **Зенкевич Б.А., Песков О.Л. и др.** Анализ и обобщение опытных данных по кризису теплоотдачи при вынужденном течении воды в трубах. Атомиздат, 1969.

В докладе приводится сравнение плотности критического теплового потока в экспериментах, проведенных на трубах разной длины, обогреваемых жидким металлом [1, 2] и электрообогреваемых трубах с различным (равномерным и косинусным) профилем энерговыделения по длине трубы [3] с данными скелетных таблиц, рис. 1.

Из рис. 1 видно, что данные, полученные на электрообогреваемых трубах, хорошо согласуются с данными скелетных таблиц. Однако критические тепловые потоки в работах [1, 2] ниже данных скелетных таблиц, причем с ростом Pr расхождение увеличивается.

М.В. Лоцманов, студ.; рук. Н.Г. Разуванов, д.т.н., в.н.с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Жидкие металлы (ЖМ) представляются перспективными теплоносителями для ядерной энергетики: в новых реакторах на быстрых нейтронах и термоядерных реакторах типа ТОКАМАК. Гидродинамика и теплообмен жидкометаллических теплоносителей еще недостаточно изучены. Сложность экспериментальных исследований жидкометаллических теплоносителей обусловлены высокой температурой плавления, химической и физической активностью, агрессивностью по отношению к материалу стенки.

Уникальный ЖМ МЭИ-ОИВТ РАН МГД-комплекс существует и функционирует на базе трех ртутных стендов. Одна из задач, которая решается экспериментально — гидродинамика при истечении затопленной струи ЖМ из узкой трубы диаметром 5 мм в широкую с диаметром 25 мм (рис. 1 а). Проводятся измерения продольной и поперечной компонент скорости зондовым методом (рис. 1 б). Зонд вводился навстречу потоку со стороны широкой трубы и располагался эксцентрично, поворот зонда позволяет получить профиль скорости от центра до стенки трубы (рис. 1 в), и можно перемещать по длине. С помощью трехтермопарного комбинированного зонда проведены измерения профилей скорости продольной компоненты корреляционным методом, поперечной компоненты — кондукционным. Измерения проводились при отсутствии и наличии продольно магнитного поля, для разных расходов и индукции магнитного поля. Обнаружено влияние магнитного поля на исследуемые профили скоростей.

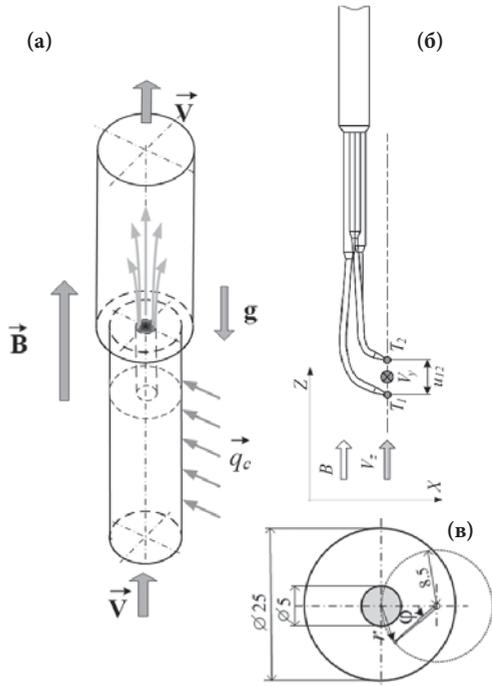


Рис. 1. Исследуемая конфигурация течения.

- а — рабочий участок,
- б — трехтермопарный зонд,
- в — схема измерений

Н.К. Морозов, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОНОРСКОЙ ПОЧКИ

В связи с растущим количеством больных, нуждающихся в трансплантации, очень остро стоят вопросы, связанные с изъятием, временной консервацией и последующей имплантацией различных донорских органов. Неправильное охлаждение донорских органов может привести к увеличению вероятности их повреждения и последующему отторжению при трансплантации. На сегодняшний день наиболее подробно исследован только процесс теплопередачи при охлаждении тонких образцов почечной ткани.

В силу сложного строения почки на первом этапе была сделана попытка в достаточно простом приближении учесть основные особенности процесса охлаждения. Основой предлагаемой математической модели охлаждения является модель почки, состоящая из следующих частей: тонкой твердой коры, пористого тела и двух непроницаемых перегородок, обтекаемых охлаждающей жидкостью.

Расчёт охлаждения и изменения температуры различных участков почки с течением времени проводился при помощи пакета PHOENICS [1].

Сравнение результатов расчётов с экспериментальными результатами [2] позволило сделать вывод, что разработанная модель, достаточно адекватно описывает процесс охлаждения почки. Имеющееся расхождение между экспериментальными результатами и результатами расчётов можно объяснить недостаточным учётом в предлагаемой расчётной модели более детальных особенностей строения почки и влияние этих особенностей на реальную структуру течения охлаждающей жидкости внутри почки.

Для устранения, расхождение между экспериментальными результатами и результатами расчётов, разработана более сложная 3Д модель почки.

Литература

1. <https://www.cham.co.uk/phoenics.php>
2. **Bukharov A.V., Martynyuk A.P., Ginevskiy A.F., Bukharova M.A., Gulyaev V.A.** A mathematical model of donor kidney cooling in hypothermic non-perfusion preservation. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(2): 123–128, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.2.18>

И.И. Соловей, студент; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЛИФТОВОЙ ТРУБОЙ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ И МНОГОЛЕТНИМ МЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

Выполнено численное моделирование теплового воздействия флюида, движущегося в вертикальной многослойной лифтовой трубе газовой скважины, на температурное поле многолетнемерзлого грунта. Задача решалась с использованием CFD кода ANES [1]. В работе моделируется теплоизолированная лифтовая труба, эксплуатируемая на действующем месторождении (рис. 1) [2]. Задача определения температурного состояния системы «флюид-труба-грунт» решалась в сопряженной постановке. Расчеты теплообмена между движущимся флюидом и внутренней стенкой трубы выполнены в одномерной постановке с использованием эмпирической формулы для коэффициента теплоотдачи. В качестве граничных условий на удалении от скважины использовались задокументированные температурные поля грунта [3]. Представлены результаты моделирования температурного поля в грунте при различных значениях теплопроводности межтрубной изоляции, температуры флюида в пласте.

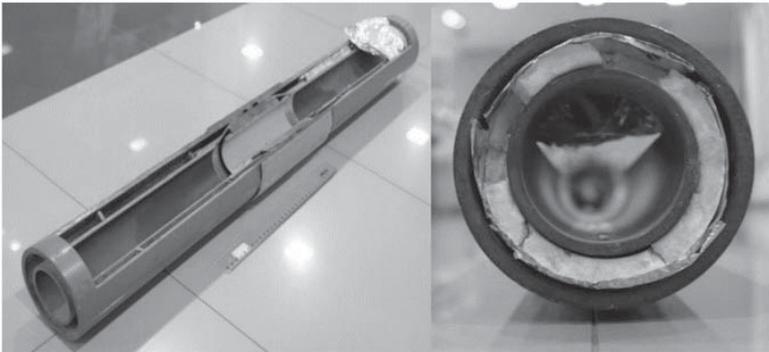


Рис. 1. Фрагмент трубы в разрезе, эксплуатируемой в скважине

Литература

1. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/>.
2. **Серегина Н.В.** Совершенствование конструкции теплоизолированных лифтовых труб для эксплуатируемых газовых скважин в многолетнемерзлых породах. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук / Серегина Нона Викторовна; Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ. — Москва, 2018. — 131 с.
3. **Гриценко А.И., Алиев З.С., Ермилов О.М., Резимов В.В., Зотов Г.А.** Руководство по исследованию скважин // М.: Наука, 1995. — 532 с.

А.А. Бахарев, студ. (НИУ «МЭИ»);
рук. Г.Б. Шмельков, м.н.с. (НИЦ «Курчатовский институт»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА SURC 4 ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ РАСПЛАВА С БЕТОНОМ КОДОМ ГЕФЕСТ-УЛР

Безопасность АЭС с реакторами ВВЭР обеспечивается за счет последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду. Последним физическим барьером безопасности блока АЭС является герметичное ограждение реакторной установки (контейнмент). При тяжелой аварии существует угроза его разрушения. Любая стратегия управления тяжелой аварией и направлена на локализацию и долговременное охлаждение образовавшегося расплава.

Для реакторов большой мощности (например, ВВЭР-1000), в случае расплавления корпуса образовавшийся кориум поступает в бетонную шахту, начинается взаимодействие расплава с бетоном (molten core concrete interaction — МССИ). Взаимодействие расплава с бетоном сопровождается его тепловым разложением с выделением большого количества газов, в том числе горючих H_2 и CO , что может привести к детонации и разрушению последнего барьера безопасности. Корректное моделирование взаимодействия расплава с бетоном необходимо для выработки мер по управлению тяжелой аварии и анализа ее последствий. В совокупности с отсутствием валидированных программных средств для анализа МССИ валидация существующих тяжелоаварийных кодов на релевантных экспериментах представляет собой важную практическую задачу.

В настоящей работе проведено моделирование кодом ГЕФЕСТ-УЛР [1] эксперимента SURC-4 [2], посвященного исследованию взаимодействия расплава конструкционной стали с базальтовым бетоном. Полученные в ходе моделирования зависимости глубины проплавления от времени, а также скорости выхода газов H_2 и CO , качественно и количественно совпадают с экспериментом.

Литература

1. Программное средство ГЕФЕСТ-УЛР. Аттестационный паспорт программного средства № 446 от 24.10.2018.
2. **Copus E.R. et al.** Core-concrete interactions using molten steel with zirconium on a basaltic basemat: the SURC-4 experiment. — Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (USA). Div. of Systems Research; Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States), 1989. — №. NUREG/CR-4994; SAND-87-2008.

А.В. Щербakov, асп.; рук. В.В. Глазков, доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МЕЛКОМАСШТАБНОГО ПАРОВОГО ВЗРЫВА И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Мелкомасштабный паровой взрыв — это паровой взрыв с участием малого количества (капли) расплавленного вещества. В работе предложена аналитическая модель, описывающая процесс мелкомасштабного взаимодействия легкокипящей жидкости с расплавленным металлом. Модель учитывает рост возмущений на поверхности жидкости в процессе пульсации паровой каверны вокруг капли металла [1], аналогично развитию т.н. волн Фарадея на поверхности жидкости в условиях периодического движения со знакопеременным ускорением. Определен вклад развившихся возмущений на перенос теплоты в слое жидкости, непосредственно примыкающей к пульсирующей паровой полости, окружающей каплю. Показано, что результирующее скачкообразное увеличение потока теплоты, отводимой в недогретую жидкость, приводит к частичной конденсации пара в полости и коллапсу паровой пленки над расплавленным металлом.

Определена зависимость геометрических свойств застывших пористых структур от параметров протекания процесса парового взрыва (температура, давление, наличие или отсутствие триггеров). Теоретические результаты и проведенные в рамках разработанной модели численные оценки коррелируют с данными экспериментов, проведенных различными авторами [2].

Полученные паровым взрывом аморфные и пористые материалы могут найти применение в области водородной энергетики (хранение водорода в пористых структурах), химической отрасли (создание катализаторов с заданными каталитическими, гидравлическими и химическими свойствами), получение металлических стекол с аномальными магнитными свойствами, а также в качестве фильтрующих материалов.

Литература

1. **Hansson R.C.** An Experimental Study on the Dynamics of Melt-Water Micro-Interactions in a Vapor Explosion, 2007. Diss. PhD. School of Engineering Sciences Department of Physics. Div. Nuclear Power. Safety. Stockholm, 2007.
2. **Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е.** Гидродинамика и теплофизика паровых взрывов. М.: ИПМех РАН, 2020.

А.А. Клементьев, аспирант; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДИФИКАЦИЯ IBL-МОДЕЛИ ПЛЁНКИ КОНДЕНСАТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПАРА

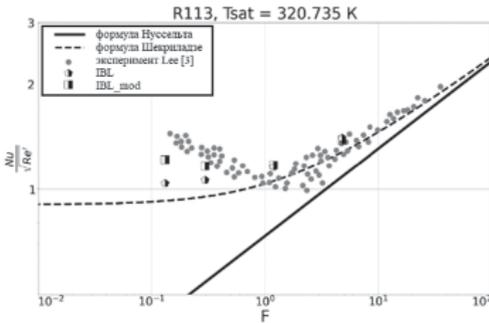


Рис. 1. Сравнение интенсивности теплоотдачи, полученной на различных моделях, с теоретическими зависимостями

решает осредненные по толщине пленки уравнения сохранения массы и импульса. Важным параметром модели является критическая толщина плёнки (δ_{cr}), при достижении которой начинается срыв конденсата с поверхности пленки. Ранее в модели использовалось постоянное значение в диапазоне от 10 до 25 средних толщин из решения Нуссельта. Опираясь на результаты анализа с использованием более точных подходов, IBL модель была модифицирована, теперь δ_{cr} определяется по соотношению:

$$\delta_{cr} = \min \left(3 \sqrt{\frac{\sigma}{g\Delta\rho}}, \frac{\sigma}{\rho''U_{\infty}^2} \right),$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; $\Delta\rho = \rho' - \rho''$; ρ'' , ρ' — плотность пара и конденсата, кг/м³; U_{∞} — скорость потока пара, м/с.

Проведено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными работы [3] (рис. 1). Модификация позволила достичь большего соответствия с экспериментом. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (грант № 22-29-01457).

Литература

1. Minko, K.B., Yan'kov, G.G., Artemov, V.I., Krylov, V.S., Klementiev, A.A. An Engineering Model of Steam Condensation from a Flowing Steam-Gas Mixture on a Bundle Made of Horizontal Tubes // Therm. Eng. 68, 705–716 (2021).
2. Код ANES [электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tnweb.ru/>.
3. Lee W.C., Rahbar S., Rose J.W. Film condensation of refrigerant-113 and ethane-di-ol on a horizontal tube — of vapor velocity // J. Heat Transfer. 1984. V. 106. Is. 3. P. 524–530.

*Е.А. Лиджиев, студент;
рук. Н.В. Васильев, к.т.н., с.н.с. (ОИВТ РАН, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПАРОВОГО ВЗРЫВА НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАСПАДА СТРУИ РАСПЛАВА

Явление парового взрыва, возникающее при определенных условиях взаимодействия воды с расплавом высокой температуры, способно привести к разрушительным последствиям на объектах атомной, металлургической, целлюлозно-бумажной промышленности.

На первой стадии развития парового взрыва происходит гидродинамический распад струи расплава, покрытой паровой пленкой, на отдельные капли. Затем после триггеринга на одной из капель, спровоцированного, по всей видимости, локальным касанием воды и расплава, процесс распространяется на соседние капли. В работе [1] было впервые зафиксировано такое распространение парового взрыва между отдельными каплями расплава. В то же время, в статье [2] были показаны режимы дробления струи при низких числах Вебера ($1 < We < 10$) на крупные фрагменты с образованием капель-сателлитов с размерами на порядок меньше, на которых становится более вероятным триггеринг парового взрыва.

В настоящей работе представлено экспериментальное исследование с использованием высокоскоростной видеосъемки (с частотой кадров 77 кГц) возможности возникновения парового взрыва на начальной стадии дробления струи расплава соли NaCl в воде. Исследованы режимы распада струи на крупные фрагменты, сопровождающиеся отрывом мелких капель-сателлитов. Продемонстрирована возможность при определенных температурных условиях ($t_{\text{NaCl}} = 1000\text{--}1100^\circ\text{C}$, $t_{\text{в}} = 20\text{--}25^\circ\text{C}$) распространения парового взрыва на два крупных фрагмента распада струи вследствие самопроизвольного триггеринга процесса на капле-сателлите. При увеличении температуры воды до $t_{\text{в}} = 50^\circ\text{C}$, по-видимому, вследствие увеличения толщины паровой пленки на капле-сателлите развития событий по описанному сценарию не наблюдалось.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01062.

Литература

1. Клименко А.В., Вавилов С.Н., Васильев Н.В., Зейгарник Ю.А., Скибин Д.А. Паровой взрыв: экспериментальные наблюдения стадии спонтанного триггеринга процесса // Доклады академии наук. Физика, технические науки. 2022. Т. 503. С. 13–16.
2. Saito S., Abe Y., Koyama K. Flow transition criteria of a liquid jet into a liquid pool // Nuclear engineering and design. 2017. V. 315. P. 128–143.

Д.В. Ширяев, асп.; рук. Я.И. Листратов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ КОНВЕКЦИИ СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КАМЕРЕ СМЕШЕНИЯ

Актуальность работы обусловлена недостатком экспериментальных и численных данных о турбулентной конвекции и теплопереносе в жидких металлах с низким числом Прандтля и высоким числом Рейнольдса. Изучение процессов смешанной турбулентной конвекции в реакторных установках сопровождается сложностью установки новых датчиков и ограниченным количеством измерительных точек [1]. Получение дополнительных данных возможно с использованием численного моделирования. Однако для обеспечения достоверности результатов требуется подтверждение адекватности численных моделей реальным физическим процессам.

В работе представлены результаты численного анализа турбулентной смешанной конвекции свинцового теплоносителя в верхней камере РУ в коммерческом CFD-коде Star-CCM+. Задача решается с применением осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса с использованием двухпараметрической модели турбулентности $k-\epsilon$ Realizable. Проведенный анализ включает сравнение численных данных с экспериментальными результатами по температурным полям, демонстрирующим зоны входа и выхода холодного и горячего теплоносителей, а также процесс их перемешивания в выходном патрубке.

Результаты моделирования служат основой для разработки алгоритма, направленного на повышение точности RANS-моделирования. Основу алгоритма составляют предварительные численные исследования, результаты которых используются для формирования замыкающих соотношений, обеспечивающих более полное согласие RANS-моделей турбулентности с результатами экспериментов применительно к РУ с жидкометаллическим свинцовым теплоносителем.

Литература

1. Большухин М.А., Васильев А.Ю., Будников А.В., Патрушев Д.Н., Романов Р.И., Свешников Д.Н., Сухановский А.Н., Фрик П.Г. Об экспериментальных тестах (бенчмарках) для программных пакетов, обеспечивающих расчет теплообменников в атомной энергетике // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5. № 4. С. 469–480.

*Н.Е. Балабаев, асп., Н.А. Лучинкин, к.т.н., н.с.,
рук. И.А. Беляев, к.т.н., с.н.с (ОИВТ РАН, Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ СТЕНКИ НА ОБРАЗОВАНИЕ МАГНИТНО-КОНВЕКТИВНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ПОТОКА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Влияние термогравитационной конвекции (ТГК) жидкого металла в каналах, на которые сильно воздействуют магнитные поля, будет играть особенно важную роль в оболочках термоядерных реакторов. Ожидается, что такие компоненты станут частью внутренней конструкции реактора.

Текущая работа по изучению магнитогидродинамического (МГД) поведения потоков жидких металлов основана на лабораторных экспериментах и численном моделировании, выполненном для упрощенных конфигураций. Результаты таких исследований не дают полностью убедительных ответов, поскольку они не могут быть использованы в экстремальных условиях термоядерного реактора. Одним из таких условий является чрезвычайно сильное магнитное поле. Другим условием является высокий тепловой поток, создаваемый излучением плазмы и поглощением нейтронов.

Совместное влияние магнитного поля и ТГК на МГД-теплопередачу в бланкете разнообразно и зависит не только от критериев Рейнольдса, Гартмана, Грасгофа и Рэлея, но и от относительной ориентации векторов скорости, индукции магнитного поля, плотности теплового потока и силы тяжести.

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния электропроводности стенки круглой трубы на формирование магнитно-конвективных пульсаций в вертикальном канале.

Литература

1. **Батенин В.М. и др.** Развитие экспериментальной базы для исследований МГД-теплообмена перспективных ядерных энергоустановок // Теплофизика высоких температур. — 2015. — Т. 53. — № 6. — С. 934–934.
2. **Belyaev I. et al.** Temperature fluctuations in a nonisothermal mercury pipe flow affected by a strong transverse magnetic field // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2018. — Т. 127. — С. 566–572.

К.Н. Елисеев, асп.; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ РАСЧЁТНОГО CFD-КОДА ANES ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ О ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА ВБЛИЗИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (ГЛАДКОЙ И НЕГЛАДКОЙ)

Цель работы — верифицировать модели турбулентности CFD-кода ANES [4] для дальнейшего расчёта с его помощью задач естественной конвекции в проектируемых системах хранения отработанного ядерного топлива.

В численных расчётах максимально полно воспроизводятся условия экспериментов [1] и [2] по измерению средних температуры и вертикальной компоненты скорости воздуха, движущегося вблизи нагретой вертикальной поверхности за счёт естественной конвекции. Вычисления проводятся как в приближении постоянных свойств воздуха, так и с учётом их зависимости от температуры [3]. Срезы указанных полей на разных высотах, а также расчётные числа Нуссельта сравниваются с экспериментальными данными.

Верифицированные модели турбулентности $k-\omega$ и SST применяются к моделированию теплоотдачи от поверхности контейнера типа CASTOR 1000/19, предназначенного для транспортировки и хранения отработанного ядерного топлива (и конструкция которого взята за основу контейнеров ТУК-141, ТУК-141О, ТУК-140, ТУК-153).

Обсуждаются следующие особенности численного решения задач естественной конвекции: постановка краевых условий на открытых границах, влияние конфигурации и размеров расчётной области на результаты, точность расчётов.

Литература

1. **Cheesewright R.** Turbulent Natural Convection from a Vertical Plane Surface // Journal of Heat Transfer. 1968. V. 90, No. 1. pp. 1–6.
2. **Tsuji. T., Nagano Y.** Velocity and Temperature Measurements in a Natural Convection Boundary Layer along a Vertical Flat Plate // Experimental Thermal and Fluid Science. 1989. V. 2, No. 2. pp. 208–215.
3. **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. 2000. V. 29, No. 33.
4. Сайт расчётного CFD-кода ANES (электронный ресурс): <http://thermophys.ru/anes> (дата обращения 03.12.2024).

С.М. Юдин, студ.; рук. Ю.П. Ивочкин, д.т.н. (ОИВТ РАН, Москва)

РАСЧЕТНО — ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ ДАВЛЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ МАЛОМАСШТАБНЫХ ПАРОВЫХ ВЗРЫВОВ

При попадании массы расплавленного металла в охлаждающую жидкость, например в воду, возможно возникновение явления, которое в литературе носит название парового взрыва [1–2]. Подобные взрывы условно можно разделить на крупномасштабные в случае попадания большой массы расплава, что более типично для аварий с потерей теплоносителя в атомной отрасли, и маломасштабные, при которых происходит взаимодействие одиночной небольшой капли металла высокой температуры с водой. Чаще всего для исследования фундаментальных закономерностей в процессе взрывной фрагментации рассматривают именно второй случай с каплей небольших размеров (~0.5–1 см).

Несмотря на малый характерный масштаб расплава эффект от ее взрыва при контакте с охладителем может приводить к деформации корпусных элементов экспериментальной установки. Так в ходе проведения серии экспериментов на жидком Рb наблюдалось разрушение фарфорового резервуара, представляющего собой емкость полусферической формы.

С помощью специально разработанного экспериментального стенда, основой которого является пьезодатчик давления, расположенный в воде на $H = 75$ мм от свободной поверхности жидкости, изучалось влияние параметров расплава (массы m_{drop} и T_{melt}) на возникающие импульсы давления в процессе взрывной фрагментации. В качестве материалов расплава использовались Bi, Sn, Pb, а также сплав Вуда, что обусловлено широким использованием данных металлов в ядерной отрасли.

Были установлены характерные зависимости $P(t)$ при разных T_{melt} . Анализ амплитуд и волнового пакета совместно с результатами параллельной высокоскоростной видеосъемки позволили установить, что наиболее интенсивные взрывы наблюдается для жидкого Sn, причем взрывы происходят под водой. В случае с Bi взрывы происходят только на поверхности, что в свою очередь не может оказывать серьезного воздействия на элементы установки. При работе в текущем диапазоне T_{melt} взрывной фрагментации Рb не происходит, что делает нахождение небольших расплавленных капель в воде относительно безопасным.

Литература

1. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е. Термическое взаимодействие высокотемпературных расплавов с жидкостями // ТВТ. 2022. Т. 60. № 2.
2. Мелихов В.И., Мелихов О.И., Якуш С.Е. Гидродинамика и теплофизика паровых взрывов. М.: ИПМех РАН, 2020.

А.О. Простодушев, Ф.А. Захаров, студенты;
рук. М.С. Яшин, к.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Современное развитие фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и технологий модификации оптических свойств поверхности позволяют рассматривать термофотоэлектрическое (ТФЭ) преобразование как эффективную альтернативу традиционным технологиям прямого преобразования тепловой энергии в электричество.

В рамках работы производилось моделирование ТФЭ системы, включающее: расчет $GaSb$ [1] с оптимизацией параметров (в программе *PC1D* с параметрами $GaSb$ из [2]); моделирование излучательной характеристики теплового излучателя (ТИ) на основе структуры тонких пленок $HfO_2 + W$ [3] на W подложке (в среде *MATLAB* с использованием открытого расчетного кода «*RTACalc*»); теплоэнергетический расчет ячейки ТФЭ планарной компоновки с температурой ТИ 1600 К (в среде *COMSOL Multiphysics* — тепловой расчет, в *MATLAB* — энергетический).

В результате расчета получены следующие параметры $GaSb$ ФЭП: степень легирования n -базы Te — $2 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, степень легирования p -эмиттера Zn — $1 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, глубина залегания p - n перехода, 0,1 мкм (профиль легирования — *erf*). В качестве антиотражающего покрытия выбрано покрытие $ZnS + MgF_2$ [1]. Усредненная внешняя квантовая эффективность (*EQE*) такого ФЭП составила 92,5% в области 800–1600 нм. Получено, что излучатель $HfO_2 + W$ обладает высокой селективностью излучения: в области фотопреобразования — $\epsilon_{\text{сред}} = 0,95$; вне — $\epsilon_{\text{ср}} = 0,29$. Планарная компоновка с зазором 0,5 мм между ТИ и ФЭП обеспечивает малые потери излучения в конструкции, $VF = 0,91$.

Эффективность ТФЭ преобразования в такой системе составила 20% с выходной мощностью 2 Вт для одного ФЭП (10×10 мм, с площадью лицевых контактов — 13%). При использовании отражателя подзонного излучения на тыльном контакте ФЭП (*BSR*) с коэффициентом отражения 90% эффективность ТФЭ преобразования увеличивается до 26%.

Литература

1. Хвостиков В. П. и др. Высокоэффективные фотоэлементы на основе $GaSb$ // Физика и техника полупроводников. — 2013. — Т. 47. — № 2.
2. Stollwerck G. и др. Characterization and simulation of $GaSb$ device-related properties // IEEE Transactions on Electron Devices. — 2000. — Т. 47. — № 2.
3. Chirumamilla M. и др. Metamaterial emitter for thermophotovoltaics stable up to 1400 C // Scientific reports. — 2019. — Т. 9. — № 1.

*Ю.К. Жулина, соиск.;
рук. А.С. Грязев, к.ф.-м.н.;
соавторы А.М. Осипов, к.т.н.;
В.В. Поляков (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

ВЛИЯНИЕ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ НА ВОДОРОДНУЮ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИРЕАКТОРНОГО БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОЯТ РБМК-1000 НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ С ПОЛНЫМ ОБЕСТОЧИВАНИЕМ

Исследование образования водорода на объектах использования атомной энергии необходимо для предотвращения возможного его горения и детонации, так как водород образует горючую смесь с воздухом. Авария на АЭС «Фукусима-1» показала необходимость рассмотрения бассейна выдержки (БВ) как отдельного радиационно-опасного объекта, для которого необходимо проводить комплексный анализ взрывобезопасности при запроектных авариях с полным обесточиванием.

В работе представлена оценка количества образовавшегося водорода в приреакторном БВ отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) АЭС с реактором РБМК-1000 при запроектной аварии с полным обесточиванием. Рассматривается аварийный сценарий, при котором происходит отказ системы вентиляции воздушного надводного пространства БВ и системы охлаждения воды БВ, что приводит к повышению температуры воды в бассейне до 100°C. На начальной стадии аварии (до начала процесса кипения) учитываются два источника водорода в надводном пространстве БВ: за счет снижения его растворимости в воде при её нагреве; в результате радиолиза воды. Также учитывается утечка смеси газов из БВ в центральный зал энергоблока. Для учета процесса испарения воды в парогазовую среду БВ используется подход со стефановым потоком массы [1], который позволяет рассчитать количество водяных паров в надводном пространстве БВ до начала кипения воды.

В результате получены зависимости масс и концентраций каждого компонента газа, находящегося в надводном пространстве БВ, от времени в процессе аварии. Показано, что присутствие паров воды под щелевым перекрытием БВ существенно сказывается на составе парогазовой смеси. Таким образом, учет водяных паров при расчете позволяет более реалистично проводить анализ аварии на начальной стадии. Также в работе отмечено, что при выполнении предусмотренных противоаварийных действий концентрация водорода не превысит 0,1%.

Литература

1. **Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.** Теплообмен: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 562 с.

М.М. Аляутдинова, студ.;
рук. Н.С. Иванов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ С МИКРО- И НАНОРЕЛЬЕФОМ

Исследование смачивания поверхности является актуальной задачей в различных отраслях техники. С помощью изменения рельефа можно увеличить теплоотдачу при кипении, испарении и конденсации [1].

В работе исследовано влияние рельефа поверхности на смачивание. Поверхности формировались двумя способами: тиснением абразивными частицами размером от 70 до 500 мкм с нанесением наночастиц углерода и закреплением углеродных нанотрубок на технически гладкой пластине с помощью цианокрилата. Для изучения смачивания разработана экспериментальная установка, которая позволяет определять краевой угол и проводить микрофотосъемку поверхности. На рис. 1 показаны краевые углы для поверхностей с комбинированным покрытием с впадинами и наночастицами углерода, и с углеродными нанотрубками, закрепленными цианокрилатом.

Показана возможность увеличения краевого угла до 170 градусов с помощью нанесения углеродных нанотрубок. При анализе влияния рельефа поверхности на смачивание, установлено, что нанесение наночастиц углерода на технически гладкую поверхность снижает гидрофобные свойства.

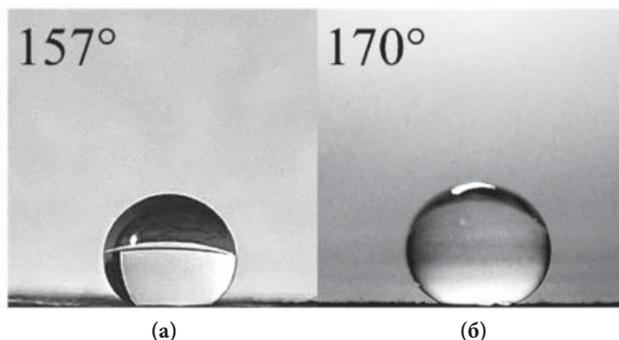


Рис. 1. (а) — комбинированное покрытие с впадинами и наночастицами углерода,
(б) — углеродные нанотрубки, закрепленные цианокрилатом

Работа выполнена в рамках проекта ПНИ 2024/2026 по теме «Разработка термосифона для термостабилизации грунтов в районах вечной мерзлоты с управлением смачиванием».

Литература

1. **Kuzma-Kichta, Y.A., Ivanov, N.S., Lavrikov, A.V. et al.** «A. Intensification of Heat Transfer During Boiling and Condensation by Means of Micro- and Nanoparticle Coatings» // *J Eng Phys Thermophy.* — 2023. — Т. 96. — No 2. — С. 344–348.

Т.А. Губанова, асп.; рук. В.В. Ягов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОХЛАЖДЕНИЕ ВЫСОКОНАГРЕТЫХ ТЕЛ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ

Изучение процесса пленочного кипения недогретой жидкости актуально в первую очередь для технологии закалки. Струйная закалка является одним из наиболее эффективных методов закаливания.

Затопленно-струйное охлаждение также нашло свое применение в процессах кристаллизации [1] и обеспечения безопасности АЭС в случае возникновения тяжелых аварий, приводящих к плавлению активной зоны [2]. Тем не менее, конфигурация охлаждения нагретого тела затопленной струей жидкости рассматривается исследователями в области кипения крайне редко.

В данной работе представлены экспериментальные результаты по охлаждению различных тел в недогретой жидкости при воздействии затопленной струи той же жидкости. Подтверждена общая схема модели, разработанная научной группой на кафедре ИТФ МЭИ [3]. Если процесс пленочного кипения в недогретой жидкости идет без искусственных воздействий, то там с хорошей вероятностью возникает несколько очагов, где устанавливается режим необычного по интенсивности теплоотвода и за счет того, что таких точек достаточно много, они могут сливаться и по итогу весь объект охлаждается стремительно. Однако, как показали численные исследования, минимальный масштаб площади, необходимый для возникновения устойчивого контакта жидкости со стенкой, должен составлять порядка $\sim 4\text{--}5\%$ от общей площади охлаждаемой поверхности. В результате чего, такой точечный возбудитель, как затопленная струя может воздействовать на данную площадь, создавать смоченное пятно и, как следствие, способствовать раннему переходу к интенсивному режиму теплообмена.

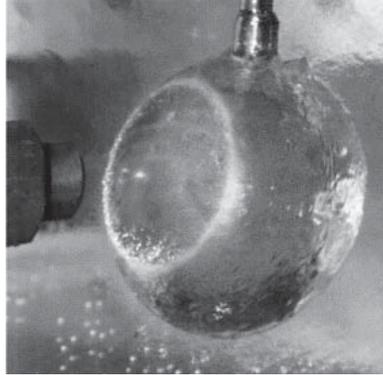


Рис. 1. Сход паровой пленки при воздействии затопленной струи

Литература

1. **Стеценко В.Ю., Марукович Е.И.** Дорн для литья полых слитков из металлов и сплавов, 2009.
2. **Кашеев М.В.** Расчетное исследование возможности удержания кориума в ловушке со струйным охлаждением стенок // Обнинск. 2000. — С. 13.
3. **Канин П.К.** О механизме дестабилизации паровой пленки при нестационарном пленочном кипении // ТВТ — 2023 — Т. 61. — № 2. — С. 241–250.

Д.А. Суханова, асп.; рук. И.А. Левицкий, к.т.н., доц. (МИСиС, Москва)

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

При описании зональными методами радиационного теплообмена в рабочем пространстве вращающейся печи для обжига сыпучего материала (рис.1) необходимо вычисление геометрических угловых коэффициентов излучения. Для этого в данной работе применен метод Монте-Карло, основанный на разыгрывании на излучающей поверхности координат точки (x_0, y_0, z_0) и направления испускаемого случайного луча (p_x, p_y, p_z) и последующем определении координат (x, y, z) точки и поверхности попадания. При моделировании направления разыгрываются угол от нормали к излучающей поверхности

$$\varepsilon_\theta = \arcsin \sqrt{r_\theta}$$

и азимутальный угол $\varepsilon_\phi = 2\pi r_\phi$, по которым затем вычисляются индексы направления (таблица 1).

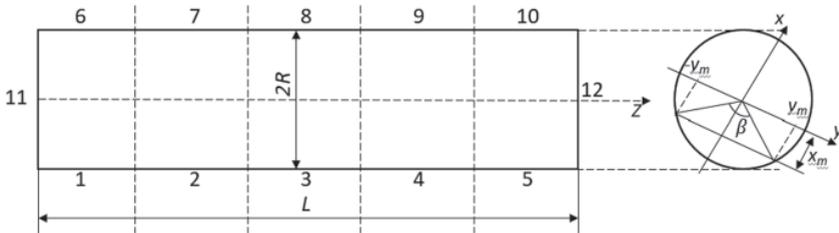


Рис. 1. Схема разбиения печи на зоны (при n=5) и система координат

Таблица 1. Формулы для координат точек и направлений испускаемого луча

Пов-ть	Излучатель	Направление	Получатель
Материал $x_m=R \cos(\beta/2)$ $y_m=R \sin(\beta/2)$	$x_0=-x_m; y_0 \in [-y_m; +y_m];$ $z_0 \in [(i-1) \cdot \Delta L; i \cdot \Delta L],$ где $\Delta L=L/n$ (n – число зон)	$p_x=\cos \varepsilon_\theta;$ $p_y=\sin \varepsilon_\theta \cdot \cos \varepsilon_\phi;$ $p_z=\sin \varepsilon_\theta \cdot \sin \varepsilon_\phi$	$x=-x_m$ $0 < z < L;$ $-y_m < y < y_m$
Стенка	$\gamma \in [(\beta-\pi)/2; (3\pi-\beta)/2]$ $x_0=R \sin \gamma; y_0=R \cos \gamma$ $z_0 \in [(i-1) \cdot \Delta L; i \cdot \Delta L],$ где β – угол сегмента, заполнен. материалом	$p_x=-\cos \varepsilon_\theta \cdot \sin \gamma - \sin \varepsilon_\theta \cdot \cos \varepsilon_\phi \cdot \cos \gamma$ $p_y=\cos \varepsilon_\theta \cdot \cos \gamma - \sin \varepsilon_\theta \cdot \cos \varepsilon_\phi \cdot \sin \gamma$ $p_z=\sin \varepsilon_\theta \cdot \sin \varepsilon_\phi$	$x^2+y^2=R^2;$ $x=x_0+p_x \cdot t$ $y=y_0+p_y \cdot t;$ $z=z_0+p_z \cdot t$
Торец	$z_0=0$ или $z_0=L; x_0 \in [-x_m; R];$ $y_0 \in \left[-\sqrt{R^2 - x_0^2}; \sqrt{R^2 - x_0^2} \right]$	$p_x=\sin \varepsilon_\theta \cdot \sin \varepsilon_\phi;$ $p_y=\pm \sin \varepsilon_\theta \cdot \cos \varepsilon_\phi;$ $p_z=\pm \cos \varepsilon_\theta$	$z=0$ или $z=L;$ $x > -x_m;$ $x^2+y^2 \leq R^2$

Разработанный алгоритм программно реализован в среде VBA MS Excel.

Секция 45

ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Technologies and physics of low temperatures

Председатель секции: к.т.н. Сидоров Александр Андреевич

Секретарь секции: Асланян Лилит Оганесовна

А.В. Рудов, асп; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ)

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ИСПАРЕНИИ С МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В данной работе изучается процесс интенсивного испарения для определения условий возникновения пересыщения, что необходимо для дальнейших расчетов объемной конденсации при интенсивном испарении. Анализ интенсивного испарения в существенно неравновесных условиях выполнен путем численного решения кинетического уравнения Больцмана (КУБ) для задачи переконденсации в одномерной нестационарной постановке [1]:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \xi_x \frac{\partial F}{\partial x} = J(F) \quad (1)$$

Рассмотрена возможность применения неравномерной сетки по координате, в которой используется мелкий шаг вблизи поверхности, на которой происходит испарение, и крупный — вдали от нее. Переход к неравномерной сетке приводит к увеличению ширины фронта возмущения, однако давление пара в области между «горячей» поверхностью и фронтом не меняется. Область, в которой пар является достаточно пересыщенным, для неравномерной сетки несколько меньше. Таким образом, переход к неравномерной сетке позволяет получить корректные данные для оценки возможности объемной конденсации при меньших затратах времени или при большем расстоянии между поверхностями.

Результаты работы послужили исходной точкой для исследования процесса объемной конденсации при интенсивном испарении с межфазной поверхностью. При использовании данного подхода нулевая итерация представляет собой решение задачи об интенсивном испарении без учета возможной объемной конденсации образовавшегося пара. На первой итерации проводится расчет объемной конденсации с использованием зависимостей температуры и степени пересыщения от времени, полученных в данной работе. Вторая итерация предполагает решение кинетического уравнения Больцмана с учетом найденных параметров конденсационного аэрозоля и теплового эффекта объемной конденсации.

Литература

1. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. М.: Наука. 1967.

А.А. Добрецов, асп.; рук. А.П. Крюков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ КРИОГЕННЫХ РЕФРИЖЕРАТОРОВ ТИПА «ПУЛЬСАЦИОННАЯ ТРУБА»

По результатам обзора научно-технической литературы были выявлены основные литературные источники, раскрывающие тему разработки криогенных рефрижераторов типа «пульсационная труба» различного назначения.

Основные принципы разработки данного типа рефрижераторов хорошо представлены в статье [1]. Рассмотрены основные элементы и ключевые принципы работы одноступенчатого аппарата. Представлена электрическая аналогия и одномерная расчетная модель для первичного определения характеристик аппарата.

Продвинутая методика двумерного моделирования регенератора и пульсационной трубы показана в работе [2]. Проведена оценка влияния различных параметров системы на эффективность работы отдельных элементов и системы в целом, даны рекомендации по их оптимизации.

Нестандартное исполнение данного типа рефрижераторов представлено в публикациях [3-4]. Проработано использование активного и пассивного вытеснителя газа как альтернативы фазосдвигающего устройства. Также рассмотрены особенности применения концентричного регенератора в компактном исполнении аппарата.

По итогу обзора статей можно прийти к выводу, что в настоящее время для создания криорефрижераторов типа «пульсационная труба» накоплен достаточный объем теоретических и эмпирических знаний, позволяющих разработать и изготовить криогенную машину, соответствующую современным запросам потребителей.

Литература

1. **Almtireen, Natheer & Brandner, Juergen & Korvink, Jan.** Pulse Tube Cryocooler: Phasor Analysis and One-Dimensional Numerical Simulation: *Journal of Low Temperature Physics*. 2020.
2. **Panda, Debashis.** Mathematical Modelling and Design Software for Pulse Tube Cryocoolers. 2017.
3. **Rana, Hannah & Abolghasemi, Mohammad Amin & Stone, Richard & Bailey, Paul & Dadd, Mike.** A Passive Displacer for a Stirling Pulse Tube Cryocooler». 2021.
4. **Rana, Hannah & Abolghasemi, Mohammad Amin & Stone, Richard & Bailey, Paul & Dadd, Mike.** Thermal Losses in a Coaxial Pulse Tube Cryocooler. 2021.

И.А. Корняков, асп.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗАПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ СВЕРХТЕКУЧИМ ГЕЛИЕМ ПРИ ОТСУТСТВИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

Во время проведения экспериментов по кипению He-II в U-образном канале выделено характерное поведение межфазной поверхности в нескольких сериях. Подробное описание схемы установки и методики проведения экспериментов представлено в [1]. Экспериментальная ячейка представляет собой перевернутый U-образный канал. Один из концов канала герметично закрыт фторопластовой пробкой. Ячейка помещена в объем сверхтекучего гелия на определенную глубину. Давление над зеркалом жидкости измеряется емкостным датчиком давления. Температура гелия в свободном объеме соответствует по линии насыщения давлению пара в криостате.

В ходе проведения экспериментов обнаружено: гелий перетекает из большого объема (в криостате) в закрытый объем вертикальной части U-образного канала. На предварительной стадии закрытый конец канала пустой: визуально жидкость не наблюдается. В процессе натекания сначала видно тонкий слой жидкости, а затем межфазная поверхность He-II-пар перемещается вверх, объем жидкости увеличивается. При этом на внутренней поверхности стеклянной трубки канала пленки не наблюдается (глазами и с помощью камеры).

Задачами исследования является обработка экспериментальных данных для построения зависимостей положения межфазной поверхности от времени для каждого эпизода, определение скорости натекания и параметров эксперимента. В результате обработки 8 экспериментальных серий получено: длительность натекания составляет от 90 до 380 с, а конечный уровень жидкости от 4,6 до 29,1 мм. В течении этого времени расстояние от верхней плоскости пробки до межфазной поверхности увеличивается монотонно со скоростью в диапазоне от $5,1 \times 10^{-5}$ до $9,4 \times 10^{-5}$ м/с. Как показывают экспериментальные данные [2], такая скорость натекания возможна при течении пленки жидкости по загрязненной поверхности стекла. При этом, толщина пленки оценивается как $3,0 \times 10^{-6}$ см, а скорость натекания от $2,4 \times 10^{-5}$ до $1,8 \times 10^{-4}$ м/с, что соответствует нашим данным.

Литература

1. Пузина Ю.Ю., Крюков А.П. Движение межфазной поверхности гелий II – пар в U-образном канале // Теплофизика и аэромеханика, 2023. Т. 30, № 4, С. 751–762.
2. Доунт Дж. Г., Смит Р.С. Современное состояние проблемы жидкого гелия // Успехи физических наук, 1955. Т. LVII, вып. 1. С. 112.

К.С. Ушаков, студ.; рук. И.Н. Шишкова, к.т.н., инж. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА НА МЕЖФАЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ЖИДКОСТЬ-ПАР

В данной работе приводится решение задачи об испарении в полубесконечное пространство. Задача решалась при помощи сквозного метода, который позволяет на основе единого расчетного алгоритма исследовать процессы испарения в жидкости, переходном слое и паре. Задача была решена несколькими способами, с учетом переходного слоя и без.

Сквозной метод решения кинетических задач был разработан на кафедре Низких температур НИУ МЭИ. Данная модель базируется на представлении о взаимодействии частиц, как о взаимном случайном обмене энергией между всеми взаимодействующими молекулами. Благодаря чему, в перспективе, этот метод может стать альтернативой совмещенного молекулярно-динамического и кинетического решения для некоторого класса задач, так как в нем не стоит проблемы различных временных и пространственных масштабов, а также ограничений на исследуемую область, которые присутствуют для уравнения Энского-Власова. А также данный концепт обеспечивает как выполнение всех законов сохранения внутри системы, так и соответствует современным трендам физической кинетики.

Одной из важных особенностей данной работы является то, что задача об испарении является хорошо изученной, что позволяет делать выводы о применимости предложенного метода.

Литература

1. **Ушаков К.С.** Особенности процессов тепломассопереноса на межфазных поверхностях жидкость-пар // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Тридцатая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (29 февраля — 2 марта 2024 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2024. — 958 с.
2. **Коган М.Н.** Динамика разреженного газа. Москва: Наука, 1967.
3. **И.Н. Шишкова, А.П. Крюков** Сквозной метод решения задач переноса массы и тепла в паро-жидкостных системах, учитывающий многочастичные взаимодействия. Инженерно-физический журнал, том 96, № 7, 2023 г.

Е.А. Евко, асп.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ КИПЕНИИ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ В U-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ С МОНОДИСПЕРСНОЙ ЗАСЫПКОЙ ДИАМЕТРОМ 70 МКМ

Учитывая рост научного и технического интересов к сверхтекучему гелию и его свойствам, кафедра Низких температур продолжает проводить исследования кипения сверхтекучего гелия в стесненных условиях. В предыдущей работе [1] проведен анализ теплопереноса при кипении He-II в U-образном канале с монодисперсной засыпкой диаметром 240 ± 5 мкм. Опытным путем выяснено, что добавление монодисперсной засыпки уменьшает амплитуду колебаний межфазной границы пар – жидкость [2] по сравнению со свободным каналом. Для исследования влияния проницаемости на рассматриваемые процессы в настоящем докладе представлены данные для засыпки диаметром 70 мкм.

Проведено 8 экспериментальных серий со стационарной нагрузкой от $28,3$ кВт/м² до $78,7$ кВт/м² в U-образном канале с использованием проницаемой вставки из монодисперсных металлических шариков диаметром 70 ± 5 мкм. Свободная засыпка расположена в нижней части трубки. С помощью обработки видеок кадров замечено, что в ряде случаев образуется тонкая пленка без макроколебаний, но с дрожанием межфазной поверхности. По сравнению с засыпкой диаметром 240 мкм, в экспериментах с засыпкой диаметром 70 мкм амплитуда колебаний межфазной поверхности уменьшается до среднего значения 0,5 мм, а частота колебаний остается при среднем значении 2,5 Гц. Таким образом, от размера шариков монодисперсной засыпки (проницаемости) зависит амплитуда колебаний, а частота не сильно изменяется с уменьшением диаметра монодисперсной засыпки [3].

Литература

1. **Евко Е.А., Пузина Ю.Ю.** Влияние давления на колебания сверхтекучего гелия в U-образном канале с монодисперсной засыпкой // Тезисы докладов тридцатой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: М.: ООО Центр полиграфических услуг «Радуга» 2024 г. С. 954.
2. **Пузина Ю.Ю., Крюков А.П.** Уменьшение амплитуды колебаний границы раздела фаз гелий II — пар при добавлении монодисперсной засыпки в U-образный канал, заполненный сверхтекучим гелием // Теплофизика и аэромеханика, 2024. Т. 31, № 4, С. 793–801.
3. **Евко Е.А., Пузина Ю.Ю.** Эффект от монодисперсной засыпки при колебаниях сверхтекучего гелия в U-образном канале. // Тезисы докладов (4–14 сентября 2024 г., Сочи, «Буревестник» МГУ). — М.: Издательство Московского университета, 2024. С. 55.

*Л.О. Асланян, аспирант;
рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ БЛОКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ CO_2 КРИОГЕННОЙ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Продукты разделения воздуха активно применяется во многих отраслях: металлургия, медицина, в качестве ракетного топлива, отсюда возникает проблема их получения. До получения готового продукта, сырье проходит несколько этапов: осушка, очистка, разделение. Так как сам воздух представляет собой сложную смесь газов непостоянного состава, для получения существуют строгие ограничения по очистке. Так, например, содержание CO_2 в магистральном газе перед разделением не должно превышать 10 ppm [1]. 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, перед блоком очистки воздух проходит через систему предварительного охлаждения. Интересно оценить поведение системы при увеличении температуры перед очисткой.

В работе рассматривается классический блок комплексной очистки воздуха (БКО), основанный на процессе короткоциклового адсорбции (КЦА) с повышенными температурами на входе.

Основная цель настоящей работы заключается в проверке методики моделирования процесса адсорбции CO_2 с применением расчетного пакета, реализующего методы конечных объемов CFD (Computational fluid dynamics) из воздуха путем сравнения расчетных данных с известными экспериментальными.

Литература

1. **Разделение воздуха методом глубокого охлаждения.** Технология и оборудование. В двух томах. Под редакцией д-ров техн. наук, проф-ров Епифановой В.И. и Аксельрода Л.С. Т. 2 Промышленные установки, машинное и вспомогательное оборудование. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М., «Машиностроение», 1973, с. 568.

*Д.К. Захаров, студ., А.Г. Губайдуллин, студ., Д. Батько, студ.;
рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПО ОЧИСТКЕ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

В технологических процессах получения сжиженного природного газа диоксид углерода выделяется в твердом состоянии, может забить отдельные части аппаратов и нарушить их режим работы, поэтому природный газ необходимо очищать от диоксида углерода. Для глубокой очистки газа от примеси широко применяется адсорбционный метод. Однако данный метод эффективен для газовых сред с небольшим содержанием примеси и при низкой температуре.

В настоящей работе предложен комбинированный способ разделения газовых смесей. Сжатый газ подается в сопло Лавалья, где улавливаемый компонент расширяется и конденсируется. За соплом установлен вихревой сепаратор, который отводит образовавшиеся твердые частицы. Окончательная очистка остаточного потока осуществляется в одном из адсорберов. Данная схема обеспечивает проведение низкотемпературной адсорбции при большом содержании CO_2 в природном газе для тонкой очистки. Главное достоинство способа — простота и надежность статических устройств, не имеющих вращающихся частей и работающих без химикатов.

Основная цель работы: определить оптимальные параметры представленной схемы и соответствующие характеристики ее элементов.

Применение расчетного пакета вычислительной гидродинамики (CFD) в двумерной постановке позволило корректно задать необходимые физические модели и получить рабочие характеристики рассматриваемых устройств.

Литература

1. **Федорова Е.Б.** Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. — М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. — 159 с., ил.
2. **Сидоров А.А., Ястребов А.К.** Моделирование процесса объемной конденсации при истечении парогазовой смеси через сопло методами CFD с применением специального расчетного модуля // Теплоэнергетика, 2023, № 4, стр. 65–77.
3. **Ramos H.S. F. et al.** CFD-based model of adsorption columns: Validation // Chemical Engineering Science. — 2024. — Т. 285. — С. 119606.

У.А. Захарова, студ.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ГЕОМЕТРИИ СОПЛА НА ОБЪЕМНУЮ КОНДЕНСАЦИЮ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ

Основной задачей данной работы является исследование влияния параметров на входе в сверхзвуковое сопло на параметры сверхзвукового парогазового потока и конденсационного аэрозоля при гомогенной объемной конденсации. В работе рассматривается конденсация паров азота, в качестве неконденсирующегося газа рассматривается гелий.

Методика численного расчета базировалась на подходах, изложенных в [1]. Для расчета скорости роста каплей была использована формула Фукса, которая не имеет ограничений по числу Кнудсена, однако подразумевает равенство температур парогазового потока и каплей. В результате решения уравнений газодинамики и уравнения состояния определяются значения температуры парогазового потока, степени пересыщения, массовой доли жидкости в каплях и количества каплей на килограмм при различных значениях угла раскрытия сопла, концентрации неконденсирующегося газа и температуры потока на входе в сверхзвуковую часть сопла.

Расчеты для различных веществ выполняются с использованием оригинальной программы на языке Fortran в пакете Code:Blocks (свободно распространяемое программное обеспечение).

Результаты моделирования течения сверхзвукового потока парогазовой смеси показали, что от параметров на входе в сверхзвуковую часть сопла зависит интенсивность процесса объемной конденсации. Так, увеличение угла раскрытия сопла, количества неконденсирующегося газа и уменьшение температуры на входе способствуют сокращению продолжительности процесса конденсации, образованию большего количества каплей с меньшей долей жидкости по длине сопла.

Количественные результаты будут представлены на конференции.

Литература

1. **Корценштейн, Н.М., Ястребов А.К.** Межфазный теплообмен в процессе объемной конденсации при течении парогазовой смеси в сопле. Теплообмен и гидродинамика в закрученных потоках: материалы IV Междунар. конф. (Москва, 18–20 окт. 2011). — Москва: МЭИ, 2011.

*Е.И. Юдин, соиск.; рук. Е.С. Навасардян, д.т.н., проф.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТАРЕЛЬЧАТОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Процесс ректификации находит широкое применение во многих отраслях химической, пищевой и нефтеперерабатывающей промышленности. Для его проведения применяют колонные аппараты, которые отличаются друг от друга способом контакта фаз и видом контактных устройств.

В отечественной и зарубежной литературе описание методик по расчёту ректификационных колонн воздуходелительных установок сводится к составлению материальных балансов колонн, определению числа теоретических тарелок, но практически нет информации о методиках расчета геометрических размеров различных типов контактных устройств, в том числе и тарельчатых для конкретных прикладных задач.

В данной работе приводится методика расчёта, которая позволяет определять такие параметры как диаметр колонны, скорость пара в колонне, конфигурация и геометрические размеры отверстий в тарельчатом контактном устройстве, гидравлическое сопротивление конкретной тарелки и всей колонны в целом, а также расстояние между тарелками, которое позволит определить высоту контактного устройства.

В результате ознакомления с основными источниками принимается, что дальнейший расчёт контактного устройства тарельчатого типа будет проводиться с использованием источников [1–3], которые дополняют друг друга. При этом для расчёта необходимо задаться конструкцией тарелки, которая представлена в источнике [4].

Литература

1. **Епифанова, В.И.** Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. В 2 т. Т.1 / В.И. Епифанова, Л.С. Аксельрод — 2-е изд. перераб и доп. — Москва: Машиностроение, 1971. — 468 с.
2. **ОСТ 26-01-1488-83.** Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчёта. Министерство химического и нефтяного машиностроения.
3. **Шевцов А.В.** Расчёт ректификационных колонн ВРУ большой производительности: учебное пособие / А.В. Шевцов. — Москва: Типография МВТУ, 1987. — 21 с.
4. **ОСТ 26-01-108-85.** Тарелки ситчато-клапанные колонных аппаратов. Параметры, конструкция и размеры.

Д. Батько, студ.; Д. К. Захаров, студ.;
рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА МЕТОДОМ АДСОРБЦИИ

В процессе производства сжиженного природного газа диоксид углерода может выделяться в виде твёрдых отложений и забивать отдельные элементы оборудования, что снижает пропускную способность трубопроводов и повышает риск аварийных ситуаций. Содержание CO_2 не должно превышать допустимых значений, поэтому в качестве рабочего вещества рассматривается бинарная смесь, состоящая из метана и диоксида углерода, которая поглощается твердым сорбентом — цеолитом 13X.

Методика расчета базировалась на подходе, изложенном в [1]. В данной работе представлен основные уравнения. Математика адсорбции заложена в ANSYS Fluent с использованием функций, определяемых пользователем (UDF). Модель реализована с помощью математической адаптации стандартных уравнений переноса Fluent, чтобы можно было учесть материальные и тепловые эффекты адсорбции.

Основная цель настоящей работы заключается в проверке методики моделирования процесса адсорбции CO_2 с применением расчетного пакета, реализующего методы конечных объемов CFD (Computational fluid dynamics) из ПП путем сравнения расчетных данных с известными экспериментальными сторонних авторов.

Литература

1. **Nouh S.A., Lau K.K., Shariff A.M.** Modeling and simulation of fixed bed adsorption column using integrated CFD approach // Chemical Engineering Science. — 2010. 3229–3235.
2. **Ramos H.S.F. et al.** CFD-based model of adsorption columns: Validation // Chemical Engineering Science. — 2024. — Т. 285. — С. 119606.
3. **Дергунов И.М., Сидоров А.А.** Основы моделирования гидрогазодинамики и теплообмена в низкотемпературных устройствах в программе Ansys Fluent: Учебное пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2023. — 144 с.
4. **Ветошкин А.Г.** Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. — Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. — 201 с.

*М.В. Мурашкин, аспирант;
рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ КРИОГЕННЫХ МИШЕНЕЙ ИЗ КСЕНОНА И КРИПТОНА

В связи с активным развитием полупроводниковой промышленности появилась потребность в увеличении плотности насыщения микросхем полупроводниковыми элементами. В настоящее время в литографическом процессе используются источники излучения с длиной волны $\lambda=0,248$ мкм.

Одним из способов решения этой проблемы является использование для засветки фотошаблона жёсткого ультрафиолета — EUV (Extreme ultraviolet) с длиной волны $\lambda \approx 8-13$ нм. Это означает, что при тех же размерах микросхемы можно в 20 раз увеличить плотность её насыщения полупроводниковыми элементами. Источником стабильного EUV излучения может служить плазма, получаемая в результате взаимодействия мощного лазера (0,1–1 ТВт, 1000 нм, 100 Гц) с твёрдыми криогенными мишенями из инертных газов (криптона или ксенона). Такие мишени обладают большим коэффициентом выхода EUV излучения и не загрязняют оптику.

Для исследования проблем создания подобных мишеней разработан проект экспериментальной установки. Установка состоит из следующих частей: вакуумной камеры, системы очистки и подачи газа, криогенной системы, системы генерации монодисперсных частиц, вакуумной системы, системы метрологии.

Инертный газ ксенон или криптон, предварительно сжижается при помощи криогенной системы и под давлением поступает в систему генерации монодисперсных капель. На выходе из системы генерации образуется тонкая капиллярная струя, на которую накладывается внешнее возмущение струя разбивается на одинаковые монодисперсные капли. Пролетая затем ряд дополнительных вакуумных камер капли за счёт испарения становятся твёрдыми и поступают в камеру взаимодействия с лазерным излучением. С помощью вакуумной системы в вакуумных камерах можно изменять давление от атмосферного давления до давления тройной точки.

Литература

1. **А.В. Бухаров, А.С. Дмитриев.** Криогенные корпускулярные мишени в энергетике. М.: Издательство МЭИ, 2013. — 144 с.; ил.
2. **А. Bukharov, M. Buescher, A. Gerasimov, V. Chernetsky.** Dynamics of Cryogenic Jets: Non Rayleigh Breakup and Onset of Non-Axisymmetri Motions. Phys.Rev.Lett.100:174505, 2008.

Г.Н. Черкасов, студ.;

рук. Н.А. Лавров, д.т.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХОЛОДОПРОИЗВОДЯЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СПГ ПРИ РЕГАЗИФИКАЦИИ НА ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Процесс регазификации сжиженного природного газа представляет собой большой интерес с точки зрения использования «холодного потенциала» СПГ, находящегося в жидком виде при криогенных температурах.

В данной работе были рассмотрены традиционные методы регазификации СПГ, к таким методам относятся регазификаторы с водяным орошением, с погружной горелкой, испарители атмосферные и жидкостного типа [1]. При этом переход СПГ в газообразное состояние можно использовать для выработки полезной энергии, данные о потенциале регазифицируемого СПГ представлены в работе [2].

Тема перехода от привычных методов регазификации к методам, в которых СПГ полезно используется для выработки энергии является востребованной. Так же в настоящее время поднимаются вопросы оптимизации воздуходелительных установок, со стороны сокращения стоимости установки, либо удельных затрат энергии на получение единицы продукта.

Предлагается рассмотреть обе эти проблемы, совместив процесс регазификации СПГ и разделения воздуха на ВРУ. Таким образом, открываются значительные возможности для сокращения капитальных затрат на поставку установки, либо повышение эффективности самого процесса воздуходеления.

Для рассмотрения взята установка Аж-1 [3]. В работе была смоделирована схема установки, а так же разработаны и рассчитаны три возможных варианта для включения в данную схему потока СПГ. Приведены зависимости коэффициента извлечения установки по жидкому азоту и удельных затрат энергии на получение единицы продукта от давления в цикле, сформулированы преимущества и недостатки каждого из предложенных решений.

Литература

1. **Синицын Н.В., Кемалов Р.А., Кемалов А.Ф.** Регазификаторы сжиженного природного газа // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. — 2016. — № 3 (09).
2. **Фальман А.Г., Агейский Д.Э.** Перспективы регазификации СПГ // Вестник МАХ. — 2015. — № 2 (04).
3. **URL:** catalog_cryogenmash_2008.pdf (дата обращения 23.11.2024).

П.А Бубнов, студ; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В ПАРОГАЗОВОМ ПОТОКЕ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Главной задачей данной работы является определение влияния различных свойств жидкости с учетом их зависимости от температуры на процесс гомогенной объемной конденсации при одномерном, стационарном течении парогазовой смеси в сверхзвуковой части сопла. В данной работе качество неконденсирующегося газа был рассмотрен гелий, в качестве конденсирующегося пара — азот.

Методика численного расчета базировалась на подходах, изложенных в [1]. Для расчета скорости роста капель была использована формула Фукса, которая не имеет ограничений по числу Кнудсена, однако подразумевает равенство температур парогазового потока и капель. В результате решения уравнений газодинамики и уравнения состояния определяются значения температуры парогазового потока, степени пересыщения, массовой доли жидкости в каплях и количества капель на килограмм при изменении различных свойств, таких как: плотность жидкости, теплота парообразования и поверхностное натяжение.

Расчеты для различных веществ выполняются с использованием оригинальной программы на языке Fortran в пакете Code:Blocks (свободно распространяемое программное обеспечение).

Результаты моделирования течения сверхзвукового потока парогазовой смеси показали, что изменение различных свойств в зависимости от температуры по-разному влияют на интенсивность процесса объемной конденсации. Так, изменение плотности жидкости, теплоты парообразования практически не влияют на данный процесс. При этом изменение поверхностного натяжения в зависимости от температуры сильно сокращает продолжительность процесса, способствует возрастанию количества капель по длине сопла

Количественные результаты будут представлены на конференции.

Литература

1. **Корценштейн, Н.М., Ястребов А.К.** Межфазный теплообмен в процессе объемной конденсации при течении парогазовой смеси в сопле Теплообмен и гидродинамика в закрученных потоках: материалы IV Междунар. конф. (Москва, 18–20 окт. 2011). — Москва: МЭИ, 2011.

Н.К. Морозов, студ.; рук. А.В. Бухаров д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОНОРСКОЙ ПОЧКИ

В связи с растущим количеством больных, нуждающихся в трансплантации, очень остро стоят вопросы, связанные с изъятием, временной консервацией и последующей имплантацией различных донорских органов. Неправильное охлаждение донорских органов может привести к увеличению вероятности их повреждения и последующему отторжению при трансплантации. На сегодняшний день наиболее подробно исследован только процесс теплопередачи при охлаждении тонких образцов почечной ткани.

В силу сложного строения почки на первом этапе была сделана попытка в достаточно простом приближении учесть основные особенности процесса охлаждения. Основой предлагаемой математической модели охлаждения является модель почки, состоящая из следующих частей: тонкой твердой коры, пористого тела и двух непроницаемых перегородок, обтекаемых охлаждающей жидкостью.

Расчёт охлаждения и изменения температуры различных участков почки с течением времени проводился при помощи пакета PHOENICS [1].

Сравнение результатов расчётов с экспериментальными результатами [2] позволило сделать вывод, что разработанная модель, достаточно адекватно описывает процесс охлаждения почки. Имеющееся расхождение между экспериментальными результатами и результатами расчётов можно объяснить недостаточным учётом в предлагаемой расчётной модели более детальных особенностей строения почки и влияние этих особенностей на реальную структуру течения охлаждающей жидкости внутри почки.

Для устранения, расхождение между экспериментальными результатами и результатами расчётов, разработана более сложная 3Д модель почки.

Литература

1. <https://www.cham.co.uk/phoenics.php>
2. **Bukharov A.V., Martynyuk A.P., Ginevskiy A.F., Bukharova M.A., Gulyaev V.A.** A mathematical model of donor kidney cooling in hypothermic non-perfusion preservation. *Sovremennyye tehnologii v medicine* 2019; 11(2): 123–128, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.2.18>

С.Б. Боковенко, асп.;
рук. А.А. Сидоров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ПОТОКА НА ПОДВИЖНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТУРБОМАШИНЫ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Одним из наиболее нагруженных режимов работы системы кондиционирования воздуха по обеспечению требуемой холодопроизводительности является полет на малой высоте или работа на стоянке в условиях жаркого влажного климата, когда охлаждение воздуха в системе сопровождается конденсацией значительного количества влаги в теплообменниках и в турбине. Процесс конденсации вызывает повышение температуры воздуха на выходе из СКВ на 15–20°C по сравнению с работой и сухом воздухе, что может привести к росту температуры воздуха в кабине экипажа.

Потери энергии из-за конденсации влаги, эрозия рабочих поверхностей проточной части турбохолодильного агрегата, работающего в условиях данного режима, приводят к росту эксплуатационных издержек при работе. Длительное воздействие влаги, в первую очередь капельной фазы, может приводить к эрозионному повреждению подвижных деталей турбоагрегата, в результате чего снижается не только надежность, но и экономичность турбоустановки.

В настоящее время, для минимизации негативных эффектов, вызванных наличием капельной фазы в проточных частях турбомашин, применяются различные технические подходы, направленные на снижение влажности и уменьшение процентного содержания крупнодисперсной влаги в потоке. Например, в паровых турбинах для удаления основного источника крупнодисперсной влаги — жидкой пленки на обтекаемой поверхности лопаток применяют внутриканальную сепарацию, которая, как показывает практика, не всегда оказывается эффективной [1]. Поэтому создание и изучение новых технических решений для снижения негативного влияния капельной влаги, особенно при высоких скоростях потока, является важной задачей

Литература

1. **Хомяков С.В.** Разработка экспериментально обоснованных методов разрушения эрозионно-опасной крупной влаги в направляющих решетках турбомашин: дис.... канд. тех. наук: 05.04.12 / Хомяков Сергей Викторович; М., 2016 г.

Т.Д. Серегин, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
науч. Конс. Н.П. Бобырь (НИЦ Курчатовский институт)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА В ВАКУУМНОМ КРИОСТАТЕ

Идея использования плазменных двигателей для освоения космоса появилась еще в 1970-е гг. [1] и до сих пор остается актуальной. Одной из основных проблем, с которыми сталкивается человечество при изучении космоса — вес и энергетика отправляемых изделий, по которым плазменные двигатели и имеют преимущество.

Одной из передовых плазменных технологий является бэзэлектродный плазменный ракетный двигатель (БПРД), использующий ионно-циклотронный резонансный нагрев плазмы. БПРД по конструкции аналогичен ионному двигателю, при этом способен решить главный его недостаток — быстрое разрушение электродов в потоке плазмы. В НИЦ Курчатовский институт создан прототип данного двигателя для исследования параметров плазмы и нахождения оптимальных режимов работы, при которых достигается необходимая величина тяги. Одним из важнейших элементов двигателя является ВТСП катушка, помещенная в вакуумный криостат, охлаждаемый с помощью криокулеров. ВТСП обычно охлаждаются с помощью заливных криостатов с жидким азотом, однако в условиях космоса регулярные доставки жидкого азота сложны и не экономичны. Поэтому используются криокулеры на замкнутом цикле Гиффорда-Мак-Магона. С криокулером также может возникнуть внештатная ситуация, при которой пропадет охлаждение, катушка перейдет из сверхпроводящего состояния в нормальное, и из-за протекания больших токов произойдет перегрев с разрушением ВТСП слоя.

Цель настоящего исследования состоит в вычислении скорости роста температуры при аварийном или запланированном отключении системы охлаждения в среде численного моделирования.

В работе представлена трехмерная модель прототипа БПРД, включающая в себя вакуумный криостат, ВТСП катушку, систему охлаждения криокулерами, системы ввода тока; численное моделирование процессов нагрева, а также полученное значение скорости нагрева.

Литература

1. **Жильцов В.А., Кулыгин В.М.** Термояд и космос // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. № 3, 2018, — с. 5–20.

*А.Г. Губайдуллин, студ.; Д.К. Захаров, студ.;
рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА ИЗ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ЧЕРЕЗ СОПЛО

В настоящей работе проводится численное исследование процесса объемной конденсации при истечении смеси через сопло в трехмерной постановке. В производстве СПГ существуют строгие ограничения по очистке, в частности, содержание CO_2 не должно превышать допустимых значений, поэтому в качестве рабочего вещества рассматривается бинарная смесь, состоящей из метана, который является неконденсирующимся газо-носителем, и двуокиси углерода — конденсирующейся примеси.

Методика расчета базировалась на подходе, изложенном в [1]. В данной работе представлен расчетный модуль «Объемная конденсация», который основан на решении кинетического уравнения методом моментов для распределения капель по их размерам. Модуль был усовершенствован с учетом пользовательских скаляров (UDS) и источниковых членов, а также интегрирован в расчетный CFD-пакет.

В процессе решения были получены распределения давления, температуры, плотности, степени пересыщения, массовой доли конденсата, числовой плотности и среднего размера капель как в сечениях, так и вдоль центральной линии анализируемых сопел.

Литература

1. **Сидоров А.А., Ястребов А.К.** Моделирование процесса объемной конденсации при истечении парогазовой смеси через сопло методами CFD с применением специального расчетного модуля // Теплоэнергетика, 2023, № 4, стр. 65–77.
2. **И.М. Дергунов, А.А. Сидоров** Основы моделирования гидрогазодинамики и теплообмена в низкотемпературных устройствах в программе Ansys Fluent: учеб. Пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2023. — 144 с.
3. **Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е.** Техническая термодинамика. М.: Издательский дом МЭИ. 2008, — 496 с.
4. **Лабунцов, Д.А.** Механика двухфазных систем: Учебное пособие для вузов / Д.А. Лабунцов, В.В. Ягов. — М.: Издательство МЭИ, 2000.
5. **Стернин Л.Е.,** Основы газодинамики двухфазных течений в соплах, М.: Машиностроение, 1974, р. 212.
6. **Фукс Н.А.** Испарение и рост капель в газообразной среде. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.

С.В. Соколов, студент; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. МЭИ (ТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ МОНОДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В настоящее время наиболее перспективными по сравнению с традиционными космическими теплообменниками являются теплообменники нового типа — капельные холодильники излучатели (КХИ). В этих теплообменниках для отвода тепла от космического аппарата используются монодисперсные потоки капель специального теплоносителя. Преимущества такой системы теплоотвода — простота конструкции, непосредственное излучение тепла в окружающее пространство, отсутствие громоздких металлических элементов, простой вывод и развертывание в космосе, управляемый и стабильный теплоотвод, минимум массы и сто процентная защита от метеоритной опасности.

Эксперименты с прототипом капельного холодильника излучателя (КХИ), проведенные на станции МИР и МКС, показали, что в начальный момент на выходе соплового элемента генератора монодисперсных капель образуется большая капля, которая мешает течению жидкого теплоносителя из отверстий соплового элемента генератора капель. В отсутствие сил тяжести за счет смачивания происходит растекание рабочего тела по всей внешней поверхности соплового элемента. В результате образуется толстая пленка, затрудняющая выход струй из отверстий, которая мешает параллельному истечению струй теплоносителя. Даже незначительное отклонение траекторий струй от параллельного истечения может стать причиной того, что капли теплоносителя могут выйти за пределы сборника капель.

Кроме того, сильное смачивание поверхности соплового элемента препятствует получению плотных капельных потоков капель. В результате капельная пелена становится более разряженной и величина теплоотвода снижается. Для исследования проблем стабильной работы генераторов КХИ создана экспериментальная установка и проведены исследования влияния смачивания на сопловые элементы из различных материалов. По результатам исследований выбран материал, наименее склонный к образованию пленок и больших капель на выходе из генератора.

Литература

1. **Бухаров А.В., Конюхов Г.В.** Капельные холодильники-излучатели в космической энергетике. (научное издание) Янус-К, 2021. — 232 с. Издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ по проекту № 21-18-00039.

Секция 46

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Nanotechnologies

Председатель секции: к.т.н. Макаров Петр Георгиевич

Секретарь секции: Журавлев Станислав Сергеевич

Д.В. Воробьев, асп.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ПУТЕМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА С ПОМОЩЬЮ СПРЕЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Вопрос термостабилизации и охлаждения оптоэлектронных устройств становится все более важным из-за роста тепловыделения при уменьшении размеров компонентов и увеличении их мощности. Температура существенно влияет на ключевые характеристики таких устройств, а современные требования эксплуатации (от -60°C до 125°C) предъявляют высокие требования к системам охлаждения [1–3].

Термоэлектрические модули (ТЭМ) являются одним из основных методов поддержания температуры, но их применение связано с высоким энергопотреблением, что требует оптимизации. ТЭМ характеризуются нелинейной зависимостью теплофизических характеристик от условий эксплуатации, включая параметры теплоотводящих систем и температуры среды. В качестве теплоотводов применяются радиаторы с пассивным и активным охлаждением, а также жидкостные системы. Однако с ростом тепловых потоков их эффективность ограничена.

В данной работе рассматривается комбинированная система термостабилизации, объединяющая ТЭМ и спрейное охлаждение для повышения эффективности теплообмена с окружающей средой.

В рамках работы была разработана установка по исследованию энергетических характеристик ТЭМ в режиме максимального холодильного коэффициента. Был предложен вариант оптимизации конструкции системы с ТЭМ с целью снижения ее энергопотребления. Экспериментально подтверждено снижение энергопотребления ТЭМ до 22% при интенсификации теплообмена тепловыделяющей стороны с окружающей средой.

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Je-Hyeong B., Favalaro 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.

А.П. Шматов, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВСПЛЫТИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ЗАСЫПКИ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

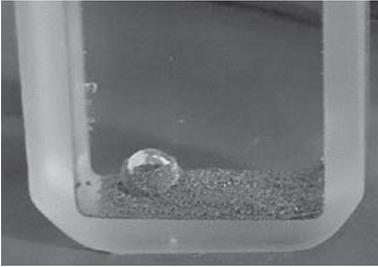


Рис. 1. Захват пузырьём комплекса микросфер

Несмотря на значительное количество исследований в области динамики частиц в жидкостях, вопросы, связанные с поведением мелкодисперсных частиц в условиях недогретой жидкости, остаются относительно малоизученными. Особенностью таких систем является то, что температура жидкости близка к её критическим показателям, что может влиять на такие параметры, как вязкость, плотность и поверхностное натяжение, а следовательно, и на механизмы всплытия частиц.

Цель данной работы — исследовать механизмы и динамику всплытия мелкодисперсных частиц различных материалов в недогретых жидкостях. Это включает в себя анализ влияния размера частиц, их плотности, химической природы поверхности, а также параметров жидкой среды на скорость и эффективность процесса всплытия. Научная новизна исследования заключается в разработке модели, которая позволит предсказывать поведение мелкодисперсных частиц в различных условиях, что может быть применимо для оптимизации промышленных технологий и повышения их экологической безопасности.

Для достижения поставленной цели будут использованы методы математического моделирования, экспериментальные лабораторные исследования, а также современные аналитические подходы, такие как микроскопия и спектроскопия. Результаты данной работы могут способствовать улучшению понимания фундаментальных процессов, происходящих в многофазных системах, и стимулировать разработку новых технологических решений для инженерных и экологических применений.

Литература

1. **Дмитриев А.С.**, Введение в нанотеплофизику, М.: БИНОМ, 2015.
2. **Эльбуз Мустафа Али.** Исследование процессов теплообмена при испарении и кипении в простых и мезоскопических системах монодисперсных микросфер и мезотрубок; Издательство МЭИ, 2015.

Д.А. Павлов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЛУШИТЕЛЯ НА ПОВОРОТЕ

Установка глушителей шума широко используется для снижения шума в газоздушных трактах ТЭС [1, 2]. Одновременно установка глушителей приводит к росту аэродинамического сопротивления и может быть причиной снижения паропроизводительности котельного агрегата. Применение глушителя особой конструкции в повороте, при оптимальном выборе профилей поворотных лопаток и их расположения, позволяет уменьшить потери давления при течении потока. В рамках работы были выполнены математическое моделирование снижения шума, а также изменение аэродинамического сопротивления, в программах Ansys и Solidworks при разных углах поворота глушителей. В ходе анализа, проведенного с использованием результатов аэродинамического расчета, было установлено, что если проходное сечение меньше 50%, то аэродинамическое сопротивление движущегося потока при повороте с глушителем увеличивается по сравнению со свободным поворотом. В этом случае скорость потока в месте установки глушителя оказывает больший эффект, за счет чего аэродинамическое сопротивление возрастает, чем устранение вихревой зоны и уменьшение искривления потока под действием центробежных сил при установке пластин [3]. Когда значение коэффициента проходного сечения больше 67%, применение глушителя с пластинами переменного сечения, установленного в повороте, напротив, позволяет снизить сопротивление поворота даже при условии установки дополнительного элемента в виде глушителя. В канале квадратного сечения со сторонами 4 м, имеющем коэффициент проходного сечения 75%, для толщины пластин 100 мм наибольшее снижение аэродинамического сопротивления по сравнению со свободным поворотом составляет 52%, для толщины пластин 200 мм — 65%.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В.Б. Тупов. — М. — Издательский дом МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тупов В.Б., Тупов Б.В.** Снижение шума тягодутьевых машин абсорбционными глушителями Электрические станции. 2017. № 4 (1029). С. 46–50.
3. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — Рипол Классик, 2013. — 468 с.

К.Т. Чан, асп.; рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В ТЕПЛОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

В настоящее время среди наноматериалов для энергетической области наиболее привлекательными являются графен и его модификации благодаря их теплофизическим свойствам, включая высокую теплопроводность (2500–5000 Вт/(м·К)), большую удельную поверхность и плазмонный механизм генерации пара [1]. В настоящее время широко проводятся экспериментальные исследования графена как перспективного материала с целью создания новых рабочих жидкостей (наножидкостей), включая графеновую наножидкость (ГНЖ). Для того чтобы применить ГНЖ в солнечных тепловых системах (солнечные коллекторы прямого поглощения — DASC, поверхностные солнечные испарители) важное значение имеют их теплофизические и оптические свойства. Однако оценка фототермических эффектов ГНЖ на основе изучения спектров пропускания может быть недостаточной, так как ослабление излучения включает в себя процессы рассеяния и поглощения. Соотношение между последними процессами для ГНЖ сложно оценить, поскольку графен представляет собой двухмерный материал и его ориентация в матрице базовой жидкости является произвольной. Исследования эффективности DASC на основе графеновых и других наножидкостей под действием натурального Солнца или солнечного симулятора показали улучшения, однако не дали информации о том, при какой длине волны происходит наиболее эффективное поглощение. По этим причинам в настоящей работе проводилось исследование влияния состава спектра излучения на эффект нагрева ГНЖ. Разработан солнечный коллектор прямого поглощения для проверки влияния наножидкостей на ее эффективность. Полученные уникальные экспериментальные результаты показали высокий потенциал применения ГНЖ в различных солнечных системах, особенно в DASC. Однако для того, что применить ГНЖ в энергетических системах в качестве рабочей жидкости, необходимо решить некоторые вопросы, связанные в первую очередь с их невысокой стабильностью и некоторой термической неустойчивостью.

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. <https://doi.org/10.56304/S0040363623080015>

*А.М. Наумова, Е.С. Щербак, студенты;
рук. С.В. Сидорова, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ВНЕДРЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР В ДАТЧИКИ ПОЛЕЙ И СРЕД

В отличие от сплошных плёнок, в островковых плёнках, состоящих из островковых наноструктур (ОНС), квантовые размерные ограничения существуют по всем трём направлениям, расширяя область действия квантовых размерных эффектов. Использование ОНС в качестве чувствительных слоев различных датчиков и сенсоров обусловлено миниатюризацией приборов, сокращением их энергопотребления и увеличением чувствительности из-за меняющейся проводимости структур под воздействием внешних условий [1]. Важной характеристикой является размер ОНС и расстояние между ними.

Цель работы — разработка способа контроля геометрических параметров островковых тонких пленок и наноструктур.

Для формирования чувствительных слоев различных датчиков применяются как ферромагнитные материалы (для датчиков слабых магнитных полей), так и легкоплавкие (для газовых сенсоров).

Формирование островкового слоя проводят методом термического испарения. На базе вакуумной установки МВТУ11-1МС с использованием пикоамперметра организован стенд контроля начальных стадий роста тонкопленочных покрытий [2]. По кривым туннельного тока, протекающего по подложке в процессе нанесения покрытий, отработаны режимы формирования ОНС.

Геометрические параметры получаемых плёнок измерены на атомно-силовом (АСМ) и сканирующем электронном (СЭМ) микроскопах. Получены СЭМ изображения ОНС кобальта и АСМ изображения ОНС алюминия. Оценены геометрические параметры ОНС.

В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований и построение математической зависимости геометрических параметров островковой пленки.

Литература

1. **Сидорова С.В., Кирьянов С.В., Юркин Н.О., Журавлева В.С., Гуляева П.С.** Исследование свойств металлических островковых тонких пленок для применения в изделиях наноэлектроники [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://vacuum.org.ru/proceedings/vacuum-2022/4461/?ysclid=m34i5r9ctd712656560> (дата обращения: 01.11.2024).
2. **Нестеров С.Б.** Десять лучших инновационных продуктов выставки VacuumTechexpo 2016 [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.nanoindustry.su/files/article_pdf/7/article_7639_547.pdf?ysclid=m34hkpphd240724435 (дата обращения: 01.11.2024)

Д.Л. Пименов, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
конс. Е.Ю. Брагин; И.А. Костриченко; С.С. Гусев
(НИЦ «Курчатовский институт»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА В МАГНИТНОМ СОПЛЕ ЗОНДОВЫМИ МЕТОДАМИ

Для отправки в космос различной аппаратуры и человека используются химические двигатели благодаря высокому показателю тяги (необходимому для отрыва корабля от поверхности планеты), но из-за крайне низкого удельного импульса подобные двигатели неспособны достаточно разогнать аппарат в космическом пространстве и их нельзя применять для дальних полетов. Однако почти с самого начала эры космонавтики разрабатываются и успешно применяются плазменные двигатели (ПД), имеющие превосходный показатель удельного импульса; наиболее перспективным типом ПД является безэлектродный. В основе работы этого двигателя — использование радиоволн для ионизации рабочего тела с последующим разгоном полученной плазмы ЭМ полем. На первой стадии работы двигателя осуществляется превращение газа в плазму с помощью радиоволновой антенны. На второй стадии ионизированный газ возбуждается посредством дальнейшего нагрева с помощью антенны ИЦР. Далее тепловая энергия плазмы преобразуется в кинетическую энергию реактивной струи за счет магнитных катушек. Подробнее в статье Д.О. Шуровского [2].

Поскольку рабочим телом такого двигателя является ионизированный газ, актуальной является задача исследования плазменного потока. Существует много различных методик диагностики параметров плазмы, но именно зондовый метод является предпочтительным как в исполнении, так и в последующей обработке получаемых данных. В настоящей работе для исследования плазмы выбран метод — зондов Ленгмюра, с особенностями работы которых подробнее можно ознакомиться в обзоре Ю.М. Кагана и В.И. Переля [1].

В ходе исследования сконструирован двойной зонд Ленгмюра, на стенде ПН-3 (НИЦ «Курчатовский Институт») снята вольт-амперная характеристика и измерено радиальное распределение электронной температуры и плотности на выходе из сопла геликонного ПД при разных параметрах его работы.

Литература

1. **Каган Ю.М., Перель В.И.** Зондовые методы исследования плазмы // Успехи физических наук 81 (11), 409–452, 1963.
2. **Шуровский Д.О. и др.** Оптические методы диагностики для измерения параметров плазмы в геликонном разряде // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез 45(2-С), 97–104, 2022.

В.В. Чечуро, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
науч. конс. Е.Ю. Брагин (НИЦ «Курчатовский институт»)

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ГЕЛИКОННОГО ИСТОЧНИКА, ГИБНУЩЕГО НА СТЕНКЕ, ПРИ ПОМОЩИ ПИРОМЕТРИИ

Одним из самых перспективных направлений развития космической техники является создание двигателя для дальних полётов. Наиболее подходящим считается плазменный двигатель с геликонным источником, преимуществом которого является высокая плотность мощности. В зависимости от режима такой двигатель, даёт либо высокую скорость истечения потока, либо высокие показатели тяги.

В настоящее время на базе НИЦ «Курчатовский институт» проводятся эксперименты по диагностике плазменного потока на модели геликонного двигателя на стенде ПН-3. В ходе экспериментов было установлено, что мощность, подаваемая на геликонную антенну, и мощность, переносимая истекающим плазменным потоком, существенно разнятся, из чего был сделан вывод, что одним из основных каналов потери мощности является гибнущий на стенке плазменный поток.

Для экспериментального исследования гибнущего потока был выбран метод пирометрии, посредством которого была построена зависимость температуры внешней стенки по времени.

Основная цель настоящего исследования — численная обработка результатов экспериментов пирометрических измерений температуры кварцевой трубы в приближении плоской пластины для оценки мощности плазменного потока, гибнущего на стенке. Для решения задачи были рассмотрены три процесса: нагрев внутренней стенки трубы за счёт энергии, пришедшей на внутреннюю стенку во время импульса; теплообмен между внутренней и внешней стенкой и конвективный теплообмен между внешней стенкой и окружающей средой. Тогда мощность, пришедшая на внутреннюю стенку, соответствует сумме мощностей, ушедшей на нагрев внешней стенки и снятой конвекцией.

Из анализа полученной зависимости, в приближении плоской пластины были решены: нестационарная задача с внутренним источником тепловой мощности, нестационарная задача теплообмена, расчет конвективного теплообмена с окружающей средой.

Литература

1. **Брагин Е.Ю., Бунин Е.А., Гусев С.С. и др.** Разработка диагностического комплекса для исследования плазменных процессов в магнитном сопле макета безэлектродного плазменного ракетного двигателя // Приборы и техника эксперимента, 2024 г., № 4.

А.М. Завгородняя, студ.;
рук. В.П.Афанасьев., д.ф.-м.н., проф.;
науч. конс. Л.Г. Лобанова

ЭРОЗИЯ ЗЕРКАЛ ИЗ МОЛИБДЕНА НА ТОКАМАКЕ EAST

Для активной диагностики плазмы токамака используются зеркала. При работе на токамаке EAST было обнаружено, что спустя непродолжительное количество времени зеркала из поликристаллического молибдена становятся матовыми. На установке Рентгеновской Фотоэлектронной Спектроскопии KRATOS на образцах зеркал было обнаружено, практическое отсутствие перепыленных материалов первой стенки, но молибден присутствовал только в виде триоксида MoO_3 . MoO_3 обладает высокой летучестью и в условиях плазменного разряда полностью слетает с поверхности зеркала. Окисдирование молибдена происходит при низких температурах в присутствии в атмосфере токамака водяного пара. Кислород из водяного пара проникает в поверхность зеркала и образует триоксид молибдена. Данная ситуация опасна не только разрушением зеркал, но и попаданием оксида в плазму, диссоциацией и появлением в плазме тяжелых атомов, что ведет к срыву разряда.

При наблюдении в микроскоп, было обнаружена неоднородность нарастания оксидного слоя. Наблюдалась разрушения разного масштаба, потому что окисдирование происходило как по границам зерен, так и по дефектам появляющихся в молибдене в результате ионной бомбардировки.

Подобный процесс будет происходить со всеми поверхностями токамака сделанными из молибдена или вольфрама. Процесс весьма разрушительный, требующий дальнейшего изучения и определения способов борьбы с коррозией поверхностей.

Литература

1. **В.П. Афанасьев, Л.Г. Лобанова, Д.Н. Селяков, М.А. Семенов-Шефов** Влияние морфологии нанопокртытия на сигнал рентгеновской фотоэлектронной эмиссии // Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. — М.: 2021. — С. 95–99.
2. **В.П. Афанасьев, Л.Г. Лобанова, Д.Н. Селяков, М.А. Семенов-Шефов** Определение толщин монослойных покрытий, подверженных ионному воздействию, методами РФЭС // Быстрозакаленные материалы и покрытия. Материалы XIX Международной научно-технической конференции. — М.: 2022. — С. 121–126.
3. **S. Hofmann** Auger- and X-Ray Photoelectron Spectroscopy in Materials Science. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. — 528 с.

В.С. Терешкин, асп.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ СПОНТАННОЙ КОНДЕНСАЦИИ

При адиабатическом расширении в сопле давление пара может упасть ниже уровня, соответствующего давлению насыщения при данной температуре. В таких условиях возникает состояние пересыщения. Это создает условия для образования и роста зародышей жидкой фазы — процесса, известного как спонтанная конденсация.

Спонтанная конденсация играет ключевую роль в широком спектре технологических процессов и промышленных систем. Среди них можно выделить — паровые турбины, сверхзвуковые сепараторы, а также опреснительные установки. Управление процессом спонтанной конденсации является важной задачей, решение которой направлено на повышение эффективности и надежности вышеупомянутого оборудования.

В настоящей работе представлен подход к численному моделированию течения с учетом объемной конденсации в осесимметричном сопле Лавалья. Суть подхода заключается в совместном применении методов механики сплошной среды и физической кинетики. Математическое описание включает систему уравнений сохранения массы, импульса и энергии, а также основное кинетическое уравнение для функции распределения капель по размерам. При этом предполагается, что двухфазная среда является невязкой и нетеплопроводной, также не учитывается межфазный теплообмен.

Основной целью работы является адаптировать существующий метод прямого численного решения кинетического уравнения для моделирования двумерных нестационарных течений. Использование данного метода обусловлено тем, что в отличие от других он не имеет формальных ограничений по размеру капель, а также позволяет определять функцию распределения, которая может быть полезна для различных приложений, например, сепараторов.

В работе была проведена адаптация метода прямого численного решения кинетического уравнения для функции распределения капель по размерам для решения двумерных нестационарных задач и проведены тестовые расчеты, результаты, которых хорошо согласуются с экспериментальными и расчетными данными других авторов [1].

Работа поддержана Российский научным фондом (РНФ № 24-79-00063).

Литература

1. **Haghighi M., Hawboldt K.A., Abedinzadegan Abdi M.** Supersonic gas separators: Review of latest developments // *J Nat Gas Sci Eng.* Elsevier, 2015. Vol. 27. P. 109–121.

А.В. Артамонов, асп.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н., доц. (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.

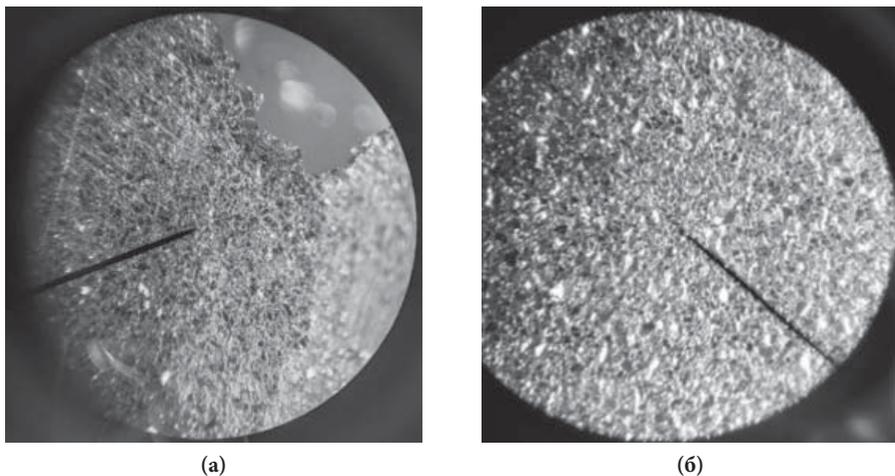


Рис. 1. Фотографии поверхностей полученных плёнок при 100х увеличении

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.

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 47

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

В.В. Тишков, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Современные газотурбинные установки (ГТУ) обладают высокой эффективностью и могут достигать коэффициентов полезного действия (КПД) свыше 60% при комбинированном цикле в виде парогазовых установок (ПГУ) [1].

На сегодняшний день применение ГТУ и ПГУ является перспективным направлением развития энергетики. Но у данных установок есть недостатки в виде повышенного шумового излучения в окружающий район [2]. В частности, штатная эксплуатация как ГТУ, так и ПГУ приводит к значительным повышением уровня шума в селитебной зоне. Наиболее интенсивными источниками шума при эксплуатации таких установок являются воздухозаборные устройства и выхлопной тракт.

Для решения проблемы по снижению шума повсеместно используются диссипативные глушители шума. Данные глушители позволяют значительно снизить уровни звукового давления в окружающем районе, но их дополнительное аэродинамическое сопротивление ухудшает технико-экономические показатели ГТУ и ПГУ.

В данной работе выполнены акустические расчеты с использованием специальной программы АРМ «Акустика» при разном количестве и режиме работы ГТУ и ПГУ. Построены изолинии уровней звукового вокруг энергетических объектов с ГТУ и ПГУ. Получены данные, показывающие разницу между уровнями излучения шума от ГТУ и ПГУ в окружающем районе. Определены величины требуемого снижения уровня шума для различного типа ГТУ и ПГУ в зависимости от мощности станции. Проведены соответствующие расчеты массогабаритных характеристик диссипативных глушителей, позволяющие обеспечить соблюдение санитарных норм на границе санитарно-защитной зоны. Особое внимание уделено аэродинамической оптимизации конструкций глушителей с использованием программы Ansys.

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.

Д.А. Павлов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЛУШИТЕЛЯ НА ПОВОРОТЕ

Установка глушителей шума широко используется для снижения шума в газоздушных трактах ТЭС [1, 2]. Одновременно установка глушителей приводит к росту аэродинамического сопротивления и может быть причиной снижения паропроизводительности котельного агрегата. Применение глушителя особой конструкции в повороте, при оптимальном выборе профилей поворотных лопаток и их расположения, позволяет уменьшить потери давления при течении потока. В рамках работы были выполнены математические моделирования снижения шума, а также изменение аэродинамического сопротивления, в программах Ansys и Solidworks при разных углах поворота глушителей. В ходе анализа, проведенного с использованием результатов аэродинамического расчета, было установлено, что в случае, если коэффициент проходного сечения менее 50%, аэродинамическое сопротивление поворота с глушителем возрастает по сравнению со сопротивлением свободного поворота, из-за роста скорости в месте установки глушителя до того значения, что эффект от установки поворотных пластин, при которой происходит уменьшение искривления потока под действием центробежных сил и снижение вихревой зоны вследствие отрыва потока от внутренней стенки и его стремлении двигаться к внешней стенке по инерции [3], нивелируется данным обстоятельством. Когда значение коэффициента проходного сечения больше 67%, применение глушителя с пластинами переменного сечения, установленного в повороте, напротив, позволяет снизить сопротивление поворота даже при условии установки дополнительного элемента в виде глушителя. В канале квадратного сечения со сторонами 4 м, имеющем коэффициент проходного сечения 75%, для толщины пластин 100 мм наибольшее снижение аэродинамического сопротивления по сравнению со свободным поворотом составляет 52%, для толщины пластин 200 мм — 65%.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В.Б. Тупов. — М. — Издательский дом МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тупов В.Б., Тупов Б.В.** Снижение шума тягодутьевых машин абсорбционными глушителями // Электрические станции. — 2017. — № 4. — С. 46–50.
3. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — Рипол Классик, 2013. — 468 с.

Хэ Ломинь, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА НА ПАРОГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ КИТАЯ

В условиях «углеродной нейтральности», предложенной Китаем, производство электроэнергии на природном газе будет играть важную роль в процессе энергетического перехода в Китае, а упорядоченное развитие парогазового комбинированного цикла имеет хороший эффект прямого сокращения выбросов [1]. В последние годы китайские парогазовые электростанции развиваются быстрыми темпами благодаря значительному технологическому прогрессу, постоянному росту рыночного спроса и активной поддержке со стороны государства.

Газопаровой комбинированный цикл — это высокоэффективный способ производства электроэнергии. Шум, возникающий при работе ПГУ, является экологической проблемой, требующей особого внимания. В городской черте проблема ТЭС проявляется особенно ярко, работники ТЭС и жители окрестностей подвергаются серьезной опасности из-за шума ТЭС [2]. Поэтому существует настоятельная необходимость в эффективном контроле шумового загрязнения электростанций.

В данной работе на примере ПГУ в Пекине Тайянгун проанализирован состав оборудования станции и характеристики оборудования, а также определены источники шума на станции. В соответствии с нормами охраны здоровья Китая была рассчитана величина требуемого снижения шума, необходимая для различного оборудования. Затем предложены мероприятия для снижения шума в соответствии с санитарными нормами для различных источников шума.

Для проверки эффективности мер по снижению шума на ПГУ в программе АРМ «Акустика» построена модель электростанции, построены изолинии уровней звукового давления для различных среднегеометрических частот вокруг станции до и после осуществления мер по шумоглушению шума. Проведена проверка эффективности мер по снижению шума.

Литература

1. **Zhitian Liu, Yugang Li, Guangjun Yang, Wenfei Wang.** Development path of China's gas power industry under the background of low-carbon transformation, *Natural Gas Industry B*, Volume 8, Issue 6, 2021, Pages 576–587, ISSN 2352-8540, [online] Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854021000930>
2. **Тупов В.Б.** Снижение шума от энергетического оборудования: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика» / В.Б. Тупов. — Москва: Изд-во МЭИ, 2005. — 232 с.: ил.

В.П. Лойко, студ.; рук. Е.А. Бойко, д.т.н., проф. (СФУ, Красноярск)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ШЛАКОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Уголь по настоящее время остается основным видом топлива для производства энергии во всем мире, на его долю приходится 56,4% от всех генерируемых мощностей. В РФ основным топливом является природный газ, его доля составляет 44,8%, на угольную генерацию приходится часть в 17,9%, а во второй ценовой зоне весомые 47%. Вследствие этого развитие угольной энергетики в РФ остается актуальной задачей, особенно для регионов Сибири и Дальнего Востока.

Помимо задач развития угольной энергетики значимым является обеспечение стабильной и надежной работы энергетического оборудования, в связи с ежегодным ростом потребляемой мощности.

Самым уязвимым на электростанции является котельное оборудование, доля их отказов на ТЭС составляет 57,2%, из них 72,9% составляют отказы поверхностей нагрева. В 57% случаев причиной отказа поверхностей нагрева является перегрев [1]. В большинстве случаев на пылеугольных котлах перегрев происходит из-за шлакования труб. Это приводит к необходимости применения специальных мер, направленных на снижение интенсивности шлакования.

В настоящее время применяются множество активных и пассивных средств борьбы со шлакованием. Однако они не могут в полной мере обеспечить эффективную работу котла. В связи с этим в мире нашли применение системы диагностики шлакования, которые совмещают в себе как активные, так и пассивные методы. На рынке существуют системы от Clyde Bergemann, Babcock&Wilcox, AMS и др.

Все эти системы обладают рядом преимуществ, которые позволяют заметно повысить эффективность работы котла в целом, однако они не обладают универсальностью, имеют высокую стоимость, и их использование в РФ на данный момент является слишком трудоемким.

Следовательно, необходимо создание альтернативной отечественной системы диагностики, которая будет учитывать все необходимые факторы, обладать низкой стоимостью и высокой надежностью работы.

В данной научно-исследовательской работе разработана универсальная методика технико-экономической оценки создания систем диагностики шлакования поверхностей нагрева.

Литература

1. **Бойко Е.А.** Риск-ориентированное управление техническим состоянием технологического оборудования тепловых электростанций М.: СФУ, 2021.

*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]. В целях реализации Парижского соглашения в Российской Федерации был издан Указ Президента N 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» [2].

Цель работы заключается в определении индикативных показателей удельных выбросов CO₂ при сжигании основных российских энергетических топлив в различных установках при производстве тепловой и электрической энергии, а также проведение отраслевого бенчмаркинга выбросов парниковых газов.

Расчеты показали, что удельные выбросы CO₂ при сжигании углей почти в 2 раза выше, чем при сжигании газообразных топлив и на 15–30% выше, чем при сжигании мазутов. Перевод всех угольных котлов российских ТЭС на природный газ позволит снизить выбросы CO₂ оценочно на 10,5–12,0% или примерно на 180–200 млн.т/год.

Увеличение КПД КЭС при сжигании одного и того же топлива снижает его расход и соответственно уменьшает валовые и удельные выбросы CO₂. Переход пылеугольных КЭС с докритических параметров пара на сверхкритические параметры пара позволяет за счет более высокого КПД снизить удельные выбросы CO₂ (т/МВт·ч) на 9,2–10,4%. Дальнейшее повышение параметров пылеугольных КЭС с СКД на СКП позволяет дополнительно снизить удельные выбросы CO₂ (т/МВт·ч) на 18–22%.

Замена всех действующих паротурбинных установок пылеугольных российских ТЭС докритического давления с параметрами 9,8МПа/540°C на более высокие параметры ДКД 13,8МПа/545°C оценочно позволит снизить выбросы CO₂ в теплоэнергетике на 2.4–3.6% или на 35–52 млн т/год.

Разработана методика количественной оценки валовых и удельных выбросов CO₂ при сжигании топлив на ТЭС и в котельных. Результаты проведенных расчетов могут быть использованы для оценки выбросов парниковых газов при подготовке статистической отчетности ТЭС.

Литература

1. **Paris Agreement** / United Nations, 2015. [Электронный ресурс]: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf.
2. **Указ Президента РФ от 4 ноября 2020 года N 666** «О сокращении выбросов парниковых газов».

Д.Д. Осипова, Н.А. Солодкая, студенты; А.П. Мунин, асп.;
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц.
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Эффективное использование энергетических ресурсов имеет ключевое значение для успешной работы современного промышленного производства. Важно обратить внимание на вопросы рационального применения энергетического потенциала, который исходит от использования ВЭР, образующихся на теплотехнических установках [1].

Дымовые газы после трубчатой печи на установках первичной перегонки нефти имеют большой потенциал. Как правило, их температура достигает порядка 600–650 градусов. С точки зрения энергетики и экологии, нецелесообразно выбрасывать эту теплоту в окружающую среду. Её можно использовать в котле-утилизаторе (КУ) для обеспечения нужд предприятия (рис. 1) [2].

В результате исследования экономия топлива будет составлять 85–90%.

Таким образом, использование котлов-утилизаторов представляет собой важный шаг в направлении повышения энергетической эффективности, улучшения экологической ситуации и снижения экономических затрат.

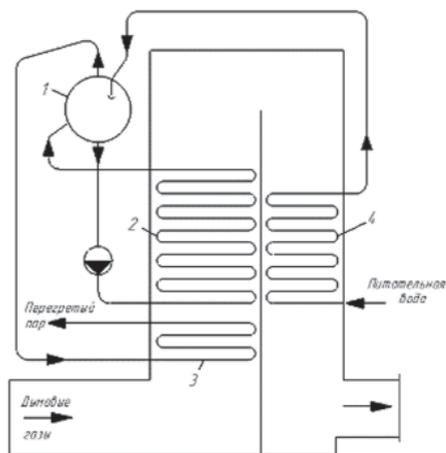


Рис. 1. Схема котла-утилизатора.
1 — барабан, 2 — испарительная часть,
3 — пароперегреватель, 4 — водяной
экономайзер

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. **Разуваев А.В., Кудашева И.О., Костин Д.А.** Системы утилизации теплоты энергоустановок как способ энергосбережения // Молодой учёный. — 2015. № 23.1 (103.1). — С. 6–9.

С.А. Дронов, асп.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕТАНО-ВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ В ГАЗОТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ратификация Российской Федерацией Парижского соглашения состоялась в сентябре 2019 года. Российское государство установило для себя цель по снижению выбросов ПГ до уровня 70–75% по отношению к показателям 1990 года, в том числе с учётом поглощающей способности лесов. В течение нескольких лет гиганты газовой промышленности выступали за расширение использования природного газа в качестве оптимального решения поставленной задачи. Однако совсем недавно мировая общественность пришла к осознанию, что в долгосрочной перспективе использование газового топлива не может полным образом решить обсуждаемую проблему. На этом фоне Программа OIES пришла к выводу, что вплоть до 2030 года спрос на природный газ в Европе будет оставаться относительно неизменным, но в дальнейшем для достижения установленных Парижским соглашением целей по сокращению углерода он будет должен снижаться ускоренными темпами [1].

Альтернативным инструментом для достижения этих целей можно считать декарбонизацию. Но переход на водородную энергетику представляет собой очень сложный экономический, технологический, а иногда и политический процесс. Следовательно, первые шаги к декарбонизации — использование метано-водородных смесей в энергетическом секторе.

Использование водорода в качестве топлива для энергоустановок имеет очевидные преимущества с точки зрения экологии по сравнению с традиционными видами топлива за счет устранения выбросов таких компонентов, как моно- и диоксид углерода (CO , CO_2), оксидов серы (SOX), недогоревших углеводородов. В состав дымовых газов установок на водороде будут входить вода и оксиды азота (NOX), которые хоть и оказывают некоторое воздействие на окружающую среду, но в значительно меньшей степени, чем выбросы при сжигании традиционного топлива [2].

Литература

1. **Lambert M.** Power-to-Gas: Linking Electricity and Gas in a Decarbonising World? // Oxford Energy Insight: 39. Oxford, 2018. p. 17.
2. **Алфаяд А.Г.Х.** Возможность применения водорода как топлива для будущей работы газовой турбины // МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. 2022. № 4. С. 18–24.

*Р.М. Савельев, асп.; рук. С.В. Картавцев, д.т.н., проф.
(МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск)*

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИДКОФАЗНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ

Процесс сжигания угля в жидкой среде, остается актуальным т.к. позволяет использовать энергетический, а не коксовый уголь или природный газ, для получения электрической энергии или чугунаго полупродукта в разных пропорциях. Это позволяет не только экономить более редкие ресурсы топлива, но и дает возможность, альтернативного производства. Однако как в действующих, так и математических установках присутствует множество стохастических процессов, что затрудняет не только точную оценку и моделирование, но и модернизацию как самой конкретной установки, так и всего процесса в целом. Такие зависимости не только позволяют вычислять более точные максимальные и минимальные значения, которые в свою очередь позволяют прогнозировать: количество исходящей продукции, затраты, потери, время сгорания конкретного элемента и т.п. а так же позволят проводить их регулировку, для корректировки пропорций выходящей продукции и повышения эффективности всего процесса, поэтому выявить такие зависимости — ключевая задача. Для получения желаемых результатов необходимо проводить апробацию полученных результатов исследования, это позволит отслеживать, актуальность, ценность и важность для дальнейшего развития данной области науки. Например, к таким данным можно отнести: среднее газосодержащие жидкости расплава, которая постоянно меняется из-за подачи нового газа-окислителя, а также выделения продуктов сгорания дробленного угля. Предлагается рассмотреть результаты экспериментов и теоретические расчеты на основании математической модели, проделанные автором.

Литература

1. **Клейман И.Э.** О возможных перспективах развития электрометаллургических заводов // Научный журнал Литьё и металлургия 2004. С. 45–46.
2. **Савельев, Р.М.** Сжигание энергетического угля в жидком расплаве / Р.М. Савельев, С.В. Картавцев // Современные достижения университетских научных школ: Сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 23–24 ноября 2023 года. Том Выпуск 8. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. — С. 25–29.
3. **Картавцев. С.В., Нешпоренко Е.Г., Шакирова А.В.,** Исследование чистых угольных технологий для производства электрической и тепловой энергии // 77-я международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». 22–26 апреля 2019 года.

*Е.Д. Кадочникова, Л.А. Балашов, студенты;
рук. Л.Е. Егорова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОЗДАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ БАТАРЕЙНОГО ЭМУЛЬГАТОРА II ПОКОЛЕНИЯ

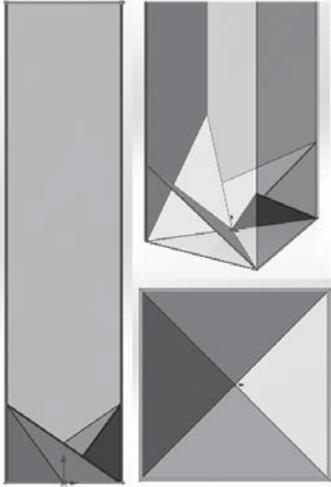


Рис. 1. Ячейка лопаточного завихрителя

Для моделирования можно ограничиться одной ячейкой прямоугольного сечения с четырьмя наклонными лопатками. На рис. 1 представлена модель ячейки лопаточного завихрителя, выполненная в программном комплексе SolidWorks.

Численные исследования модели эмульгатора проводится в ПК ANSYS Fluent.

Расчеты выполнялись с использованием функций Multiphase (для двух моделей VOF и Mixture) и DPM [2].

Корректность модели оценивалась по картине течения фаз и их смеси.

По результатам исследования планируется получить зависимости эффективности очистки дымовых газов от конструктивных и режимных параметров работы эмульгатора.

Личный вклад авторов состоит в создании численной модели, которая наилучшим образом описывала бы реальные процессы в эмульгаторе.

Литература

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям | Сжигание топлив на крупных установках в целях производства энергии: ИТС 38 — 2017: дата введения 01.07.2018 / Утвержден Росстандартом 22.12.2017. N 2929.
2. ANSYS. Fluent Theory Guide. — Canonsburg: ANSYS Inc, 2024. — 1146 p.

И.М. Сметанин, студ.;
рук. М.В. Фоменко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНЫХ УГЛЕЙ В ТОПКЕ КОТЛА С ПРЯМОТОЧНЫМИ ГОРЕЛКАМИ И СОПЛАМИ

В настоящее время доля угольных электростанций в балансе установленной мощности РФ составляет более 16%. При длительной эксплуатации угольных ТЭС возникает необходимость перехода на сжигание непроектного топлива ввиду истощения месторождений проектных углей, ухудшения качества топлива, сокращения и необеспеченности поставок угля или ужесточения экологических требований. При переводе котлов на альтернативные топлива основными проблемами являются: шлакование поверхностей нагрева; неустойчивость горения непроектного топлива; абразивный износ конвективной части котлов; снижение экологических показателей.

Особенностью угля марки Т является малый выход летучих, из-за чего данное топливо, в основном, сжигают в топках с жидким шлакоудалением. В разработанной схеме [1] сжигание тощего каменного угля организовано с применением твердого шлакоудаления с помощью прямооточных горелок и воздушных сопел. Особенностью схемы является организация подвода горячих продуктов сгорания к корню топливовоздушных струй для их прогрева и устойчивого зажигания, а также создание множества вихрей для интенсивного перемешивания топлива с окислителем. Данная система имеет хорошие экономические и экологические показатели сжигания тощего каменного угля.

В данной работе проведено исследование сжигания непроектных топлив марок А, ПА, Д, а также Б2 Канско-Ачинского и СС Экибастусского бассейнов в топке с применением схемы сжигания [1] с помощью численного моделирования в программном комплексе Ansys Fluent. Получены значения механического недожога q_4 , температуры на выходе из топки, концентрации оксидов азота, выполнена оценка шлакования поверхностей нагрева. Сделаны выводы о возможности сжигания непроектных топлив с помощью исследуемой схемы [1].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00722, <https://rscf.ru/project/22-19-00722/>

Литература

1. **Фоменко М.В.** Разработка и оптимизация схемы сжигания тощего угля с использованием прямооточных горелок: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.5 / М.В. Фоменко — М., 2023. — 182 с.

*Х.М. Зайниддинов, А.Р. Володчекоев, студ. (НИУ «МЭИ»);
Ю.М. Чубко, доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

РАЗРАБОТКА БЕЗДЕАЭРАТОРНОЙ СХЕМЫ

Современная жизнь невозможна без электроэнергии, которая обеспечивает как промышленные процессы, так и повседневные бытовые нужды. Производство электроэнергии на тепловых электростанциях осуществляется через преобразование химической энергии топлива в механическую энергию вращения турбогенератора. Основной задачей исследования является выбор и обоснование основного и вспомогательного оборудования для построения расширенной тепловой схемы энергоблока, а также выполнение конструкторских расчетов. В работе выполнены гидравлический и прочностной расчеты смешивающего подогревателя, основанные на выбранном прототипе. Кроме того, проведена оценка эффективности регенерации низкого давления при различных схемах включения слива дренажа и использовании подогревателей. Для достижения целей исследования применяются аналитический, эмпирический и логический методы.

Особое внимание уделено изучению и внедрению бездеаэрационных схем, которые приобретают популярность в отрасли. Эти схемы применяются на таких станциях, как Кармановская ГРЭС, Ладыжинская ГРЭС и Пермская ГРЭС, где они продемонстрировали ряд преимуществ. Среди них: повышение безопасности за счет отсутствия деаэраатора, упрощение регенерации, снижение затрат на ремонт и обслуживание, а также уменьшение потерь энергии, связанных с дросселированием пара. Опыт эксплуатации бездеаэрационных схем показал, что они обеспечивают более стабильную работу тракта низкого давления, особенно при малых нагрузках. Кроме того, использование таких схем способствует снижению потерь из-за выпара и уменьшает энергозатраты на поддержание давления в деаэрааторе. Примером является внедрение бездеаэрационной схемы на Кармановской ГРЭС для энергоблока мощностью 300 МВт, где улучшились водный режим и эксплуатационные характеристики оборудования.

На основании проведенного анализа подтверждена целесообразность внедрения бездеаэрационных систем для повышения эффективности современных энергоблоков. Однако для успешной реализации данного подхода необходимо учитывать начальные условия, экономические затраты и соответствие экологическим стандартам. Проведение пилотных проектов или глубоких тестирований позволит минимизировать риски и адаптировать технологии к конкретным условиям эксплуатации.

*В.А. Косов, М.А. Косов, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Саратов);
А.С. Кузнецова, студ.; рук. Р.И. Кузьмина, д.х.н., проф.
(СНИУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

ЭФФЕКТИВНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОТОПИТЕЛЬНО-ВАРОЧНАЯ ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ

Бытовые твердотопливные печи для отопления помещений и приготовления пищи широко распространены в сельских поселениях, частных домах, в дачах. Они могут быть как стационарными, так и переносными, и разнообразны по своему конструктивному исполнению. Общим их недостатком является низкое тепловое к.п.д. из-за больших потерь теплоты с уходящими дымовыми газами и загрязнение окружающей среды вредными для природы компонентами.

Нами разработана транспортабельная каталитическая отопительно-варочная твердотопливная печь длительного горения [1], в значительной степени лишенная недостатков известных печей подобного назначения. В предложенной печи используется ряд новых инновационных решений, повышающих ее функциональность и эффективность.

Так, наличие в печи камеры каталитического дожигания дает возможность практически полностью устранить продукты недожога и экологически вредные компоненты в составе топочных газов. Проведенные опыты показали также значительное снижение содержания диоксида углерода в топочных газах (декарбонизация).

На внутренней поверхности варочной горизонтальной чугунной плиты имеются ребра, образующие ряды открытых снизу ниш, заполняемых продуктами горения, что способствует интенсификации прогрева варочной плиты и достижению однородности температурного поля на всей площади поверхности плиты. К особенностям печи относится и наличие теплоутилизационных устройств, используемых для высушивания пищевых продуктов или одежды, а также для других нужд. Расчетный тепловой к.п.д. печи составляет 0,9.

Студенты-соавторы настоящей работы участвовали в составлении заявки на изобретение и расчетах печи, в проведении опытов по каталитическому сжиганию твердого топлива.

Литература

1. Пат. РФ № 2776986, МПК F 24 В 1/26, F 24 В 9/00, F 24 В 5/06. / Ю.Я. Печенегов, И.Г. Остроумов, Р.И. Кузьмина, О.В. Бурухина, В.А. Косов, М.А. Косов. Опубл. 29.07.2022, Бюл. № 22.

О.А. Урвачев, асп.; рук. И. Л. Ионкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ

На сегодняшний день одной из главных экологических проблем всего мира является парниковый эффект, вызываемый парниковыми газами. К основным методам борьбы с ними можно отнести улавливание, использование альтернативных топлив и повышение эффективности оборудования. Наибольший вклад при сжигании органических топлив в парниковый эффект вносят выбросы в атмосферу CO_2 [1, 2]. Один из методов их снижения это использование в качестве топлива водородосодержащих газов (ВСГ). При сжигании ВСГ образуется большое количество водяных паров, которые также являются парниковым газом. В связи с этим привлекательным является применение конденсационных теплоутилизаторов (КТУ), которые позволяют не только значительно повысить эффективность использования топлива, но и сконденсировать большую часть водяных паров.

Часто для повышения эффективности КТУ используется схема с предварительным подогревом и увлажнением воздуха, подаваемого на горение, что влияет на работу котла. Ранее при помощи программы Boiler Designer выполнялись многовариантные тепловые расчеты котла ТГМ-96 при различном содержании водорода в ВСГ. На данном этапе исследований моделировалась работа котла БКЗ-420-140НГМ совместно с установкой КТУ с подогревом и увлажнением воздуха, подаваемого на горение.

Установлено, что эффективность КТУ с ростом доли H_2 в ВСГ значительно увеличивается, а объем выбросов в атмосферу водяных паров будет снижаться. Получаемое в КТУ низкопотенциальное тепло может быть использовано в системах коммунального теплоснабжения, для подогрева обратной сетевой воды или в других целях.

Полученные результаты будут использованы при разработке мероприятий для повышения эффективности работы котлов, сжигающих ВСГ.

Литература

1. **Нагайцев И.А., Петрова Т.В.** Направления развития технологий сокращения выбросов парниковых газов для предотвращения климатических изменений // Экономика. Право. Инновации. 2022. № 4. С. 21–29.
2. **J.G.J. Olivier, J.A.H.W. Peters.** Trends in Global CO_2 and total greenhouse gas emissions. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2020.

А.Б. Мухаметов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НАДСТРОЙКИ СО ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ

Одним из основных способов снижения шума на путях его распространения является установка шумозащитных экранов. На тепловых электрических станциях экраны широко используются для снижения шума градирен, дутьевых вентиляторов и трансформаторов. Для повышения акустической эффективности шумозащитных экранов используются надстройки различного типа, которые устанавливаются на верхней кромке экрана и предназначены для снижения дифракции звука через «свободное» ребро [1–2].

В настоящей работе предложена новая конструкция надстройки, заполненной звукопоглощающим материалом (рис. 1). С помощью математического моделирования в программе COMSOL Multiphysics исследованы акустические характеристики надстройки.

Построены зависимости акустической эффективности надстройки от расположения источника шума (ИШ) и расчётной точки (РТ) в пространстве. Выполнено сравнение значений акустической эффективности предложенной конструкции надстройки со значениями акустической эффективности антидифрактора диаметром 0,5 м с углами установки 0, 90 и 180° [1]. Получено, что акустическая эффективность новой конструкции надстройки выше акустической эффективности антидифрактора с различными углами установки на 2–8 дБА.

Также в работе получена зависимость акустической эффективности надстройки от её геометрических характеристик. Определена технико-экономическая целесообразность использования предложенной конструкции надстройки.



Рис. 1. Схема экрана с надстройкой

Литература

1. Тупов В.Б., Мухаметов А.Б. Исследование акустических экранов с антидифрактором для снижения шума энергетического оборудования // Теплоэнергетика, 2024, № 9, С. 92–101.
2. Тупов В.Б., Мухаметов А.Б. Устройство для снижения шума от оборудования. — Патент на полезную модель RU 220476 U1 — Публ. 15.09.2023. Бюл. № 26.

Секция 48

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.; Т.Н. Четверикова, Д. Заводов, студ.,
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЗНАЧИМОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Очистка сточных вод от нефтепродуктов (НП) на тепловых электростанциях (ТЭС) необходима, так как они имеют разрушительное воздействие на окружающую среду (ОС). В связи с этим ведется поиск новых методов и аппаратов для очистки сточных вод.

Одно из направлений для решения экологических проблем на теплоэнергетических объектах это — повышение квалификации работающих специалистов и обучение новым знаниям студентов. Именно эту цель преследует созданный на кафедре ТОТ уникальный лабораторный практикум по курсу «Очистка сточных вод ТЭС». Он включает в себя использование таких новых технических средств, как коалесцентный модуль с материалом нового поколения АПТ-8 [1]. В процессе научных исследований материал был опробован в лабораторных условиях и прошел испытание на теплоэнергетическом объекте, показав высокий результат по очистке вод от нефтепродуктов.

Лабораторные работы «Очистка замасленных и замазученных вод на аппарате непрерывного разделения водомасляной эмульсии» и «Очистка замасленных и замазученных вод с помощью сорбентов нового поколения» способствуют ознакомлению студентов с научными основами современного производства, получению навыков обращения с реактивами, приборами и инструментами, а также развитие у студентов преобразующего мышления и творческих способностей, реализовать которые можно, используя метод проектов, где студенты включаются в творческую деятельность.

Литература

1. **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.
2. **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.

*С.С. Костин, студ.; рук-ли: А.Е. Верховский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»), Б.Е. Рябчиков, д.т.н., старший науч. сотр.
(АО «НПК Медиана-Фильтр»)*

ЭЖЕКЦИОННЫЙ МЕТОД ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ДОБАВОЧНОЙ ВОДЫ

В связи с тем, что значительная часть анионного состава рек в РФ обусловлена гидрокарбонат-ионами, при очистке данных вод крайне важно уделять внимание этапу удаления растворенной в воде углекислоты. Повышенная концентрация углекислоты может провоцировать усиление коррозионных процессов в конденсатно-питательном тракте ТЭС.

Традиционно на водоподготовительных установках ТЭС углекислоту удаляют с помощью декарбонизаторов. Чаще всего применяются аппараты башенного типа с загрузкой в виде колец (керамических, пластиковых или металлических). В связи с тем, что концентрация CO_2 в воздухе составляет не более 0,1%, то для удаления данного газа из воды достаточно просто организовать большую площадь контакта обрабатываемой воды и воздуха.

Начиная с середины прошлого века в нашей стране шли активные разработки нового, более совершенного аппаратного оформления декарбонизации. Наибольший интерес представляют барботажные, пенные, распылительные и эжекционные декарбонизаторы. В последних большая площадь контакта достигается за счет интенсивного перемешивания воды и воздуха в диспергированном потоке [1].

Подобный тип декарбонизаторов на сегодняшний день активно применяется в энергетике. Например, именно подобные аппараты установлены на Адлерской ТЭЦ [2].

С целью изучения массообменных характеристик эжекционного декарбонизатора новой конструкции создана установка для проведения пилотных испытаний. На данный момент изготовлен и предварительно испытан аппарат из ПВХ производимостью $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 1).

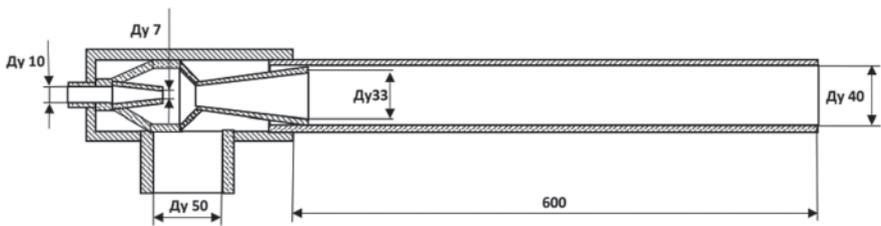


Рис. 1. Эжектор для проведения испытаний

Литература

1. **Комарчев И.Г.** Безреагентный метод удаления диоксида углерода из воды // Электрические станции. 1988. № 8. С. 43–45;
2. **Очков В.Ф., Гавриленко С.С.** Комплексное применение мембранных технологий очистки воды в энергетике на примере Адлерской ТЭС // Новое в Российской электроэнергетике. 2012. № 10. С. 26–34.

*Н.Р. Умирова, асп.; В.А. Мокробородов, Е.А. Гуляев студ.;
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РЕГЕНЕРАЦИЯ СОРБЕНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Сорбция относится к обратимому процессу, при котором поглощенное сорбентом вещество может переходить обратно в раствор. Скорость протекания процесса сорбции и обратного процесса — десорбции зависят от концентрации вещества в растворе и на поверхности сорбента. Существует несколько способов регенерации, применяемых в зависимости от свойств сорбентов, сорбируемых веществ и конкретных условий проведения процесса: а) регенерация проводится при температуре близкой к температуре стадии адсорбции; б) регенерация при использовании пара или горячей воды; в) промывка отработанного сорбента кислотой или другим активным агентом. Процесс регенерации сорбентов может осуществляться непосредственно на самой сорбционной установке и за ее пределами [1].

Для определения возможности использования выбранных сорбентов нового поколения в теплоэнергетике для удаления из сточной воды растворенных и нерастворенных нефтепродуктов был проведен эксперимент на установке кафедры ТОТ МЭИ. В качестве объектов исследования были выбраны алюмо-силикатный сорбент нового поколения, а в качестве эталонного сорбента — активированный уголь. Применен метод обработки сорбентов горячей водой при температуре 100°C [2]. В качестве нефтепродуктов выступали дизельное топливо, турбинные и трансформаторные масла.

Одним из важных показателей сорбентов является механическая прочность сорбента. Прочность влияет на сохранение физической структуры, размер и истирание гранул. Большинство сорбентов при регенерациях подвергаются разрушению, что приводит к непригодности их для дальнейшего использования. В нашей работе исследуемые сорбенты нового поколения не подверглись физическому разрушению, кроме того сорбционные свойства сорбентов улучшились после воздействия на них воды с высокой температурой. После регенерации сорбционный материал возвращается в систему и готов к дальнейшей работе.

Литература

1. **Смирнов А.Д.** Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. — 168 с. ил.
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.

*Н.Р. Умирова, асп., В.Н. Русяев, студ.;
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ТЭС

Целью моделирования является определение оптимальных условий протекания процесса, управление им на основе математической модели и перенос результатов на объект. Полная математическая модель включает описание связей между основными переменными процесса в установившихся режимах (статическая модель) и во времени при переходе от одного режима к другому (динамическая модель) [1].

Разработка математической модели для очистки сточных вод от нефтепродуктов (НП) может повысить эффективность очистки, а значит и привести к снижению эксплуатационных затрат, служить обоснованием для принятий решений по модернизации оборудования или изменении технологии очистки, прогнозировать результаты. Рассмотрим основные подходы при создании математических моделей.

Подход основанный на сорбционном равновесии, предполагает использование динамической математической модели равновесной изотермической адсорбции. Она описывает баланс адсорбированного вещества между твёрдой и жидкой фазами, а также динамику адсорбции, которая включает уравнения материального баланса, кинетику процесса переноса примеси из потока жидкости внутри зёрен адсорбента и изотермы адсорбции.

Нами проведено исследование сорбционных характеристик сорбентов нового поколения. Сорбенты тестировались в различных конфигурациях. Были получены кривые аппроксимации и на основе исходных данных посчитаны эффективность очистки, отношения средней концентрации НП на выходе к начальной концентрации, статическая значимость полученных уравнений, построены выходные кривые для всех исследованных сорбентов [2].

Полученный в процессе выполнения экспериментов по кинетике адсорбции информационный базис позволяет моделировать динамику адсорбции в неподвижном слое сорбента.

Литература

1. **Лаптев А.Г., Бородай Е.Н.** Математическая модель процесса адсорбции при очистке сточных вод ТЭС от нефтепродуктов.
2. **Ко Ко Маунг** Экспериментальное исследование сорбционных технологий для очистки сточных вод от нефтепродуктов на тепловых электростанциях Мьянмы.

Н.Н. Ноев, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНИОНИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РАСХОДОВ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ НА ПОДПИТКУ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В данной работе рассматриваются способы повышения эффективности работы анионитных фильтров второй ступени применительно к объекту исследования. Объектом исследования является ТЭЦ с установленной мощностью 285 МВт. Главной целью работы является определение оптимального способа анионирования воды на второй ступени, вследствие высокого содержания углекислоты и кремниевой кислоты в обрабатываемой воде при малой жесткости.

Значимостью проведенного исследования является возможность снижения расхода реагентов на регенерацию ионитных фильтров и, как следствие, улучшение показателей экономичности и экологичности станции. Снижение расхода реагента до стехиометрического значения в процессе анионирования достигается легче, чем при Н-катионировании. Поэтому в процессе анионирования воды основной задачей является правильный выбор способа анионирования. При прямой регенерации повышается расход щелочи, для обеспечения регенерации нижних слоев анионита, а при противоточной регенерации необходимо использование инертов или поддержание постоянного расхода воды, во избежание выноса фильтрующего материала. Ни один из этих способов не может быть реализован на объекте исследования, поэтому целесообразным является применение двухточно-противоточной системы фильтрования.

Результатом исследования стал анализ применённой системы фильтрования и сравнение полученных данных с существующей системой фильтрования, на основании которых можно утверждать, что применение данной схемы способно повысить длительность фильтроцикла, снизить расход реагентов на регенерацию практически до стехиометрического, а также обеспечить оптимальную скорость фильтрования.

Литература

1. **Баулина А.И.** Обработка воды на тепловых электростанциях. М.: Энергия, 1966.
2. **Фейзиев Г.К.** Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. **Ларин Б.М.** Обработка воды на ТЭС и АЭС // ГОУВПО «ИГЭУ». — Иваново, 2010.

А.А. Аслан, студ.; рук. Егошина О.В., к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР И ПРОБЛЕМЫ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ С ВВЭР

Водно-химический режим (ВХР) играет ключевую роль в безопасной эксплуатации оборудования АЭС с ВВЭР, предотвращая коррозию и образование отложений [1]. Основная цель ВХР — минимизация коррозионных процессов и отложений, влияющих на теплоноситель [2]. Первый и второй контуры ВВЭР работают в разных химических и тепловых условиях, что требует специализированных методов контроля [1].

Основные проблемы ВХР включают коррозию и отложения на теплопередающих поверхностях, что увеличивает затраты на обслуживание и может привести к авариям. Для минимизации коррозии в первом контуре используют борную кислоту и ингибиторы, а во втором — морфолин и гидразин для снижения накопления продуктов коррозии и поддержания стабильного pH [2].

Современные системы автоматизированного контроля ВХР включают датчики и программно-технические комплексы, которые корректируют химический состав воды, обеспечивая оптимальный режим эксплуатации. Это продлевает срок службы оборудования и повышает безопасность АЭС [3].

Оптимизация ВХР с использованием таких систем способствует снижению рисков коррозии, увеличению надёжности энергоблоков и продлению их эксплуатационного ресурса.

Литература

1. **Шутиков А.В., Савченко В.Е.** «Совершенствование ВХР второго контура АЭС с ВВЭР-1000». 2008. № 2.
2. **Тяпков В.Ф., Шарафутдинов Р.Б.** «Проблемы и развитие ВХР АЭС». 2003. № 4.
3. **Артемьев А.С., Мирошниченко И.В., Вилков Н.Я.** «Оборудование контроля ВХР АЭС». Изд-во ВВМ, 2017. 42 с.

А.О. Иванова, асп.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ УЭП ДЕГАЗИРОВАННОЙ ПРОБЫ

Современные требования к качеству теплоносителей на ТЭС и АЭС ужесточаются в связи с переходом на более эффективные технологии энергоблоков. В отечественных и международных нормативных документах особое внимание уделяется таким показателям, как удельная электрическая проводимость (УЭП) прямой и Н-катионированной проб. Эти параметры определяют стабильность водно-химического режима (ВХР) [1].

Дегазация проб перед измерением УЭП становится ключевым этапом. Дегазированная проба позволяет устранить влияние растворенных газов, таких как кислород и углекислый газ, которые могут существенно исказить измерения УЭП за счет образования слабых электролитов (например, угольной кислоты). Это особенно важно для высокочистых вод, где минимальные концентрации газов могут привести к существенным погрешностям.

Развитие информационных технологий позволяет разрабатывать алгоритмы, основанные на математических моделях ионных равновесий, которые рассчитывают концентрации примесей в дегазированных пробах. Такие алгоритмы предполагается использовать для расчета нормируемых показателей, включая концентрацию корректирующих реагентов, карбонат, гидрокарбонат ионов, анионов сильных кислот в паре [2].

Целью работы является оценка возможности разработки алгоритмов, которые обеспечивают расчет показателей качества воды и пара на основе данных УЭП и УЭП-Н дегазированных проб. Алгоритмы позволят автоматизировать ввод данных, их верификацию, выполнение расчетов и выдачу результатов. Они найдут применение в системах контроля водно-химического режима на ТЭС, АЭС и в промышленности.

Литература

1. **Ларин А.Б., Киет С.В., Зотова К.В., Ухалова Е.Г.** Расчетные методы на основе измерений удельной электрической проводимости и рН в системах химического контроля водного теплоносителя // Теплоэнергетика. — 2023. — № 6. — С. 82–88.
2. **Ларин Б.М.** Химия водного теплоносителя: учеб. пообие. Иваново: ИГЭУ, 2021.

Д.С. Прирез, асп.; рук. С.Л. Громов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНГИБИТОРЫ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Еще в последней трети прошлого века были запатентованы первые ингибиторы солеотложений для установок обратного осмоса и положено начало их промышленному применению. С тех пор непрерывно ведутся исследования в этой области с целью разработки новых, более эффективных и универсальных реагентов.

На сегодняшний день доминирующие позиции на мировом рынке принадлежат ингибиторам на основе фосфоновых кислот, благодаря их высокой эффективности, широкому спектру действия и совместимости с основными типами применяемых в обратном осмосе мембран [1].

Несмотря на эксплуатационные достоинства фосфонатов, в последнее время участились попытки разработки альтернативных композиций для ингибирования процессов осадкообразования в технологиях мембранного разделения из-за явления эвтрофикации водоемов, вызываемого присутствием фосфора и его производных в сбрасываемом концентрате.

Ужесточение требований к экологичности и безопасности химических реагентов стимулируют применение альтернативных решений. Одним из перспективных направлений исследований считается создание специальной комбинации ингибитора на основе фосфоновых кислот и полимерных соединений [2].

Упомянутая выше комбинация реагентов, может приводить к так называемому синергетическому эффекту, позволяющему усилить ингибирующее действие при одновременном снижении отрицательного влияния на экологию водоемов.

Важным аспектом при разработке новых подходов является подбор оптимальных соотношений компонентов, а также учёт специфических условий эксплуатации обратноосмотического оборудования, включая температуру, рН, состав и минерализацию исходной воды, а также ее происхождение. Это требует проведения дополнительных исследований, направленных на определение наиболее эффективных рецептур ингибиторов.

Дальнейшее изучение и внедрение подобных композиций представляется перспективным направлением, позволяющим повысить показатели экономической эффективности установок обратного осмоса.

Литература

1. **Г Cowan J.C., Weintritt D.J.** Water-formed scale deposits. // Houston: Gulf Publishing Co, 1976. Vol. 3. P. 606.
2. **Senthilmurugan B., Radhakrishnan J.S.** Water Treatment: Evaluation of Maleic Acid-Acrylamide Copolymer Inhibitor Efficiency on Calcite Scale by Response Surface Methodology // Nature Environment & Pollution Technology. — 2024. — Т. 23. — № 3.

М.Д. Григорьев, асп.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТБОРА И ПОДГОТОВКИ ПАРА С ПОМОЩЬЮ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ОТБОРА ПРОБЫ

В химико-технологическом мониторинге тепловых и атомных электростанций важную роль играют два ключевых процесса: отбор проб пара и их подготовка к анализу. Основная задача заключается в том, чтобы обеспечить достоверность данных о качестве пара и воды, что напрямую влияет на эффективность работы тепловой электростанции в целом. Устройства отбора пробы должны гарантировать представительность, то есть проба должна точно отражать физико-химические свойства среды, из которой она взята [1]. Для достижения этого необходимо соблюдение ряда требований, таких как поддержание постоянных температуры, давления и скорости потока среды на протяжении всей длины устройства отбора. Отклонение этих параметров приводят к искажению результатов анализа, что делает контроль состояния водного химического режима недостоверным. Не менее важным этапом является подготовка пробы для последующего анализа. Устройства подготовки должны обеспечить такие параметры температуры и давления, которые соответствуют условиям работы аналитического оборудования [2].

Цель работы — провести численное моделирование процесса отбора и подготовки пара с использованием модернизированных устройств. Задачами моделирования являются анализ процесса охлаждения, дросселирования и регулирования расхода.

В результате численного моделирования предполагается выявить и устранить потенциальные проблемы в устройствах подготовки пробы. После этого планируется рекомендовать модернизированное устройство для широкого использования на тепловых электростанциях в качестве основного средства отбора пробы. Это позволит повысить точность мониторинга водного химического режима.

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. Гимадиев А.Г., Уткин А.В. Об автоматическом регулировании температуры теплоносителя в устройстве подготовки пробы // Энергосбережение и водоподготовка. — 2017. — № 3. — С. 54–60.

Ю.П. Панфилов, асп.;
рук. А.Е. Верховский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Современное развитие атомной энергетики ставит задачи проектирования и создания атомных станций малой мощности (АСММ) для обеспечения в труднодоступных местах электроэнергией и теплом различных потребителей. При проектировании АСММ неотъемлемой частью при обеспечении надежной работы является, оптимальный выбор водно-химических режимов (ВХР) технологических контуров АСММ с целью предотвращения коррозионного разрушения оболочек тепловыделяющих элементов, парогенераторов, теплообменного оборудования и т.д.

Разработка водно-химических режимов АСММ проводилась на основании опыта эксплуатации судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ) [1]. Проведенный анализ отчетов по ведению водно-химических режимов технологических контуров судовых ЯЭУ, показал следующие данные:

1. Требуется ужесточение действующий норм качества теплоносителя технологических контуров, в связи с образованием и наливанием нерастворимого шлама на теплопередающие поверхности;
2. ВХР судовых ЯЭУ является оптимальным для возможного дальнейшего ведения в технологических контурах АСММ;

Была проведена оценка коррозионной стойкости используемых в разрабатываемых АСММ материалов и режимов работы установки Применения коррозионно-стойких материалов по аналогии с судовыми ЯЭУ не потребует применения в ВХР реагентов-пассиваторов оборудования. По результатам составлены следующие выводы:

1. Наиболее оптимальным ВХР I-го контура АСММ является аммиачный. В связи с тем, что при данном режиме образуются комплексоны ингибиторы коррозии, и подавляется радиолит воды путем смещения ионного равновесия в сторону реакции;
2. Наиболее оптимальными ВХР II-го и III-го контуров является бескоррекционный с полнопоточной очисткой теплоносителя на ионообменных и механических фильтрах;
3. Должен обеспечиваться непрерывный контроль за химическим составом теплоносителя всех технологических контуров, путем установки на них автоматических солемеров.

Литература

1. **Касперович А.И., Колесов Б.И., Сандлер Н.Г.** Водно-химические процессы в реакторных установках атомных ледоколов и плавучих энергоблоков // Атомная энергия. 1996. Т. 81. № 4.

*Е.Р. Симонова, студ.;
рук. Н.А. Большакова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БОУ

Блочная обессоливающая установка (БОУ) — предназначена для очистки основного конденсата от продуктов коррозии, смываемых с поверхности оборудования и трубопроводов и химических примесей, поступающий в конденсатопитательный тракт с добавочной водой, присосами охлаждающей воды в конденсатор турбины. БОУ как правило состоит из электромагнитного фильтра (ЭМФ), фильтров смешанного действия (ФСД), ловушек зернистых материалов, регенерационной установки, трубопроводов, арматура и КИП. Конденсатоочистка является вспомогательным производством на ТЭС и АЭС, однако качество ее функционирования оказывает большое влияние, как на экономичность, так и на безаварийность работы электростанции в целом [1].

В сочетании с осуществлением эффективного контроля за водно-химическим режимом, применение автоматизации БОУ даст возможность снизить расход реагентов, повысить качество воды, увеличить срок межремонтной эксплуатации котлов и трубопроводов. При этом, такой процесс имеет специфические особенности, которые влияют на эффективность применения средств автоматизации, распространенных в энергетике [2].

В настоящее время намечаются тенденции оптимизации технологической схемы очистки конденсата, разрабатывается новое оборудование и средства автоматизации, производство механических фильтров большой единичной производительности (радиальные, двух- и трех-поточные фильтры), а также различные ионообменные материалы для ФСД [3].

Литература

1. **Радцевич В.Ф.** Структура автоматизированной системы технологическими процессами водоподготовительных установок // Актуальные проблемы энергетике. СНТК-74. С. 83–85.
2. **Орефков И.В., Кочеткова И.В.** Особенность процесса химводоочистки как объекта автоматизации // НЭЖ «Матрица научного познания». 2022. № 4-2.
3. **Мердих С.Л.** Повышение эффективности процесса обессоливания турбинного конденсата второго контура энергоблока АЭС // Экология и промышленность. 2016. № 3. С. 62–66.

*Д.А. Абрамова, асп. (НИУ МЭИ);
рук. А.В. Рыженков, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДА НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Коррозия труб в теплоэнергетике одной из проблем износа металлической поверхности. В среднем 25% коррозионных разрушений трубопроводов тепловой сети образуется из-за внутренней коррозии труб.

Одним из наиболее популярных способов защиты поверхности металла от коррозии является использование поверхностно-активных веществ (ПАВ). ПАВ формируют защитную пленку на поверхности металла, которая предотвращает контакт металла с агрессивной средой, что уменьшает скорость коррозионных процессов.

Процесс образования такой защитной пленки основывается на процессе адсорбции. Существует два вида адсорбции: физическая и химическая (хемосорбция). Физическая сорбция происходит за счет слабых взаимодействий. Химическая сорбция происходит за счет формирования химических связей между адсорбатом и поверхностью сорбента. Это более сильные связи, чем в случае физической сорбции. Схематичное изображение типов адсорбции представлено на рисунке 1.

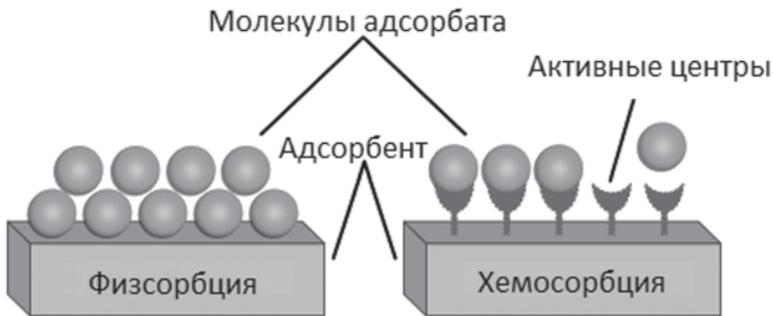


Рис. 1. Процессы образования слоя при хемосорбции и физсорбции

Процесс хемосорбции малоизучен, поэтому для изучения условий протекания хемосорбции и влияния способов обработки на коррозионную стойкость на образцах из стали марки 08КП были сформированы межмолекулярные слои октадециламина (ОДА) различными способами. Часть образцов выдерживалась в водной эмульсии ОДА, а часть выдерживалась в расплаве ОДА. В результате оценки влияния параметров обработки конструкционных материалов с использованием ОДА на коррозионную стойкость выявлено, что температура оказывает положительное влияние на уменьшение скорости коррозии.

Г.А. Ковалев, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СКЛАДА РЕАГЕНТОВ ХВО

Создание цифрового двойника склада химико-вспомогательных материалов (ХВО) на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) является важной и востребованной разработкой, способствующей повышению эффективности управления ресурсами и оптимизации производственных процессов. Цифровой двойник позволяет в режиме реального времени отслеживать запасы, анализировать потребление материалов и осуществлять автоматизированное планирование поставок, что снижает риски дефицита или избыточного остатка ХВО. Это, в свою очередь, приводит к снижению эксплуатационных затрат, улучшению безопасности и надежности работы ТЭЦ, эффективному управлению логистикой и повышению устойчивости к изменениям в спросе. В условиях растущей конкуренции и необходимости экологической ответственности, внедрение цифровых двойников становится ключевым шагом на пути к цифровизации и трансформации энергетической отрасли.

Основные особенности разработки цифровых двойников в энергетике:

1. **Интеграция данных в реальном времени:** Цифровые двойники используют данные с датчиков и мониторинговых систем для создания актуальной модели, что позволяет отслеживать рабочие параметры и состояние оборудования в режиме реального времени.
2. **Симуляция и моделирование:** Они позволяют моделировать поведение энергетических систем при различных условиях, что помогает в проведении сценарных анализов и оценке воздействия изменений в процессе.
3. **Аналитика и прогнозирование:** Цифровые двойники используют алгоритмы машинного обучения и аналитические инструменты для прогнозирования возможных проблем и неэффективностей, что позволяет заблаговременно принимать меры по их устранению.
4. **Оптимизация процессов:** Эти системы позволяют проводить оптимизацию работы энергетических установок, что ведет к снижению потребления ресурсов и уменьшению эксплуатационных затрат.
5. **Улучшенное планирование:** Использование цифровых двойников способствует более эффективному планированию технического обслуживания и ремонтов, что сокращает время простоя оборудования.

Литература

1. **Kumar, A., et al.** (2021). «Implementing a Digital Twin on a Thermal Power Plant for Efficiency Management.» IEEE Access, 9, 81243–81254.
2. **Gao, R., & He, H.** (2020). «Digital Twin Technology in the Energy Industry: A Review.» Journal of Energy Storage, 27, 101015.

Ш.Б. Уджар, студент; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРОЗИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ АЭС С ВВЭР

Коррозия материалов второго контура атомных электростанций (АЭС) с реакторами ВВЭР представляет собой одну из важнейших проблем, влияющих на эксплуатационную надежность и безопасность. Легированная сталь, используемая в трубопроводах и теплообменниках, подвергается воздействию высоких температур и агрессивных сред. Это может привести к накоплению продуктов коррозии, сокращению срока службы оборудования и повышению риска аварийных ситуаций [1].

Целью данной работы является моделирование коррозионных процессов легированной стали во втором контуре АЭС с учетом ключевых факторов: температуры, химического состава теплоносителя и скорости потока. Основная задача — разработка зависимостей для прогнозирования коррозионного износа и оптимизации водно-химического режима (ВХР), что способствует увеличению срока службы оборудования [2].

Моделирование предполагается выполнить с учетом электрохимических уравнений, описывающих скорость коррозионных процессов. Будет учтено влияние легирования стали на ее стойкость к коррозии [2]. Анализ планируется провести с использованием программного обеспечения для численного моделирования коррозии и теплообмена [3].

Согласно литературным данным скорость коррозии углеродистой стали увеличивается с ростом температуры теплоносителя и концентрации растворенного кислорода [3]. Легирование углеродистой стали существенно снижает коррозионный износ, однако требует выбора оптимального состава химических добавок [2]. Оптимизация ВХР позволяет уменьшить накопление продуктов коррозии на 35–40%, что снижает эрозийные повреждения энергетического оборудования [1, 3].

Литература

1. **Крицкий А.А. и др.** Моделирование миграции продуктов коррозии во II контуре АЭС с ВВЭР-1200. — М.: Изд. дом НИУ МЭИ, 2016.
2. **Крицкий А.А., Иванов Б.Б.** Влияние легирования сталей на их коррозионную стойкость. — Энергетика России, 2022.
3. **Болдырев С.В.** Моделирование коррозии углеродистой стали для прогноза срока службы. — Современные проблемы АЭС, 2023.

А.П. Михеев, студ.; А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ВЫНОС ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В РАБОЧУЮ СРЕДУ ВТОРОГО КОНТУРА АЭС

Надёжность и эффективность работы парогенератора (ПГ) на АЭС с водородяным энергетическим реактором (ВВЭР) в значительной степени зависят от эрозионно-коррозионных (ЭК) повреждений оборудования, связанных с высоким уровнем отложений на теплопередающих поверхностях, которые, в основном, состоят из железосодержащих соединений (ЖСС) [1].

Основной причиной образования и выноса в рабочую среду второго контура энергоблоков АЭС с РУ ВВЭР этих соединений являются ЭК процессы. В предложенной в [2] методике определения ЭК выноса в поток ЖСС учитывается, что скорость ЭК металла, в значительной степени, зависит от таких параметров водно-химического режима (ВХР) как концентрация кислорода и pH_t жидкой фазы, контактирующей с металлом.

В настоящее время энергоблоки АЭС с РУ ВВЭР работают на сверхноминальных мощностях 104 и 107%. В связи с перспективами повышения мощности РУ возникает необходимость анализа влияния этого перехода на показатели качества теплоносителя второго контура АЭС.

В работе был проведен анализ влияния повышения мощности РУ от 104 до 112% на изменение условий эксплуатации оборудования и линий трубопроводов энергоблоков, в том числе давления, температуры, расходов рабочей среды, степени влажности пара, а также параметров водно-химического режима (расчетных значений концентрации кислорода и дозируемых реагентов, pH_{25} и pH_t жидкой фазы). В работе показано, что скорость ЭК стали и вынос ЖСС в рабочую среду второго контура для отдельных линий трубопроводов, может существенно увеличиваться (более чем на 40%), а для других уменьшаться (почти на 30%).

Результаты исследования могут быть использованы при разработке и оценке эффективности мероприятий по совершенствованию ведения ВХР, и снижения отложений в ПГ при повышении мощности энергоблоков.

Литература

1. **Тяпков В.Ф., Шарафутдинов Р.Б.** Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // Вестник Госатомнадзора России. — 2003. — № 4.
2. **Томаров Г.В., Шипков А.А.** Эрозионно-коррозионный вынос железосодержащих соединений — источник отложений в парогенераторах АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. — 2011. — № 3.

*А.О. Зорин, В.Н. Русяев, студенты;
рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Активированный уголь является одним из наиболее распространенных и экономически доступных материалов для финальной стадии очистки сточных вод от нефтепродуктов (НП) [1]. После водоочистки уголь утилизируется, так как его считают исчерпавшим свои сорбционные свойства. Одним из вариантов утилизации угля является его термическое обезвреживание. Данный метод позволяет получать экологически более безопасный продукт — золу, которая, как правило, подлежит дальнейшему захоронению как обезвреженный материал [2].

На кафедре ТОТ НИУ «МЭИ» проведены эксперименты по использованию адсорбционного метода очистки сточной воды от НП, где в качестве загрузки фильтра использовался активированный уголь. Через одну и ту же марку угля в различных установках пропускался модельный раствор на основе различных НП (дизельное топливо, турбинное масло, трансформаторное масло).

После исчерпания ресурса адсорбента была определена его зольность, посредством выдерживания навески топлива в муфельной печи. Результаты эксперимента были обработаны и продемонстрировали снижение показателей зольности практически в два раза, в сравнении с углем, не использовавшимся в качестве сорбента.

Уменьшение зольности ведет к улучшению экологических характеристик, включая сокращение выбросов твердых частиц в атмосферу, уменьшению образования шлаков и снижению загрязнения окружающей среды.

Литература

1. **Смирнов А.Д.** Сорбционная очистка воды. — Химия. Ленингр. отд-ние, 1982.
2. **Лагутенко М.А., Литвинова Т.А., Косулина Т.П.** Направления совершенствования технологии термического обезвреживания нефтесодержащих отходов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — № 93. — С. 190–200.

К.В. Зотова, аспирант; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 25–350 °С

Одним из важных показателей качества водного теплоносителя на ТЭС и АЭС является водородный показатель рН, который нормируется и измеряется в охлажденных пробах при температуре 25 °С. Однако, значения рН при рабочей и фактической температурах не совпадают [1], и оказываются на 1–2 единицы ниже измеренных значений в охлажденной пробе [2]. Применяя уравнение электропроводности и учитывая характер изменения ионного произведения воды $K_{w,t}$ в зависимости от температуры [3], по измеренным значениям удельной электропроводности χ_t при фактической температуре [4] рассчитаны значения эквивалентной электропроводности воды ($\lambda_{0,t}$) и значения показателей рН_t, в том числе с учетом изменения плотности воды с ростом температуры. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые физико-химические характеристики водного теплоносителя в диапазоне температур 25–350 °С (по линии насыщения)

Показатели	Температура, °С							
	25	50	100	150	200	250	300	350
рН(t) (при C_{H^+} , моль/кг)	7,0	6,7	6,1	5,7	5,5	5,4	5,5	6,1
рН(t) (при C_{H^+} , моль/дм ³)	7,0	6,70	6,12	5,74	5,56	5,50	5,65	5,34
$\lambda_0^{H_2O}$, См·см ² ·моль ⁻¹	550	825	3079	2786	2864	2678	3480	1096

Представленные в табл. 1 данные будут служить исходными данными для расчета рН_t по измерениям χ_t как в чистой воде, так и в предельно разбавленных водных растворах, какими являются питательная вода и пар энергетических установок.

Литература

1. **Тяпков В.Ф.** Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика. — 2011. — № 5.
2. **Зотова К.В.** Расчет значений рН_t при рабочих параметрах теплоносителя второго контура АЭС с ВВЭР / А.Б. Ларин, Б.М. Ларин, К.В. Зотова // Вестник ИГЭУ, 2024 / Вып. 6.
3. **Мартынова О.И.** Международные таблицы и уравнения для ионного произведения воды и пара // Теплоэнергетика. — 1981. — № 1.
4. **Голубев Б.П.** Электрофизические методы исследования свойств теплоносителей. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. **Marshall W.L., Franck E.U.** Ion product of water substance, 0–1000 °C, 1–10,000 bars. New international formulation and its background // J. Phys. Chem. 1981. — Vol. 10.

Секция 49

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

*В.Д. Уланов, студ., О.В. Некрасов, асп.;
рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

ТЕПЛОФИКАЦИОННАЯ ТУРБИНА Т-295/335-23,5 ДЛЯ ЗАМЕНЫ ТУРБИН Т-250/300-23,5

В ПАО «МОСЭНЕРГО» с 1970 г. были введены в эксплуатацию 19 энергоблоков на базе турбины Т-250/300-23,5 Уральского турбинного завода. Для замены энергоблока № 9 ТЭЦ-22 было принято решение применить новую турбину Т-295/335-23,5. Поставка турбины выполнена в 2016 г. а ввод в эксплуатацию в июне 2022 г. Новое основное оборудование было установлено в ячейку старого основного оборудования в осях “44-49”, ширина котельного отделения — 39 м, ширина машинного зала — 59 м шаг колонн — 12 м [1].

В новой турбине были увеличены температура острого пара и пара промежуточного перегрева до 565°C, а также расход пара в голову турбины: 1011 т/ч в номинальном режиме и 985 т/ч в конденсационном режиме. Увеличилось давление пара холодного промперегрева до 4,2 МПа и соответственно горячего промперегрева до 3,8 МПа. Совершен ряд конструктивных изменений проточной части турбины и системы регулирования, была реализована бездеаэрационная тепловая схема со смешивающим ПНД-2 и двумя питательными насосами по 60% с электроприводом. По результатам модернизации электрическая мощность энергоблока увеличена на 18% в теплофикационном режиме и на 11,7% в конденсационном режиме; относительный КПД отдельных ступеней новой турбины достигает 92%; а КПД всего энергоблока — 40% в конденсационном режиме; все основное оборудование отечественного производства [1, 2].

Литература

1. Буров В.Д., Некрасов О.В., Кожухарь С.Д. Реконструкция паросилового энергоблока с турбиной Т-250/300-240. Материалы межд. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии», 11 том «Теплотехника», Иваново, 2023, с. 46–48.
2. А.С. Алешина, А.А. Ивановский, С.Ю. Евдокимов, И.Ю. Кляйнрок, А.Ю. Култышев, Е.Н. Поляева, М.Ю. Степанов, Т.Л. Шibaев Паровые турбины в составе паросиловых и парогазовых установок: учеб. Пособие / А.С. Алешина [и др.]; под ред. д.т.н. А.Ю. Култышева, к.т.н. И.Ю. Кляйнрока. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. — 463 с.

Е.А. Шиповский, студ.;
рук. А.В. Сенецкий, д.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКА К-300 ПУТЕМ ЗАМЕНЫ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЦИКЛОМ НА УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Наибольшее распространение при реализации энергетических блоков получили паротурбинные установки конденсационного типа единичной мощности 300 МВт. Данные блоки регулярно претерпевают изменения путем модернизации и реконструкции за счет усовершенствования конструкции и рабочих характеристик отдельных компонент тепловой схемы [1].

Одним из глобальных решений повышения эффективности энергоблока является перевод его на супперсверхкритические параметры острого пара при максимальном сохранении тепловой схемы. Однако, на данном этапе развития реализация данного решения ограничивается технологическими возможностями производства металлургической отрасли [2].

В процессе проведения исследований в области повышения эффективности выработки электрической энергии решается задача сочетания циклов Ренкина и Брайтона (сверхкритические параметры CO_2) [3]. Особенностью предлагаемого решения является использование исходного энергоблока мощностью 300 МВт с заменой низкопотенциальной части на цикл с применением в качестве рабочего тела CO_2 . Это дает возможность конденсировать воду и передавать скрытую теплоту конденсации в полном объеме рабочему телу второго контура и избежать проблем возникающих при эксплуатации последних ступеней цилиндра низкого давления конденсационных паровых турбин (эрозионный износ, отрыв рабочих лопаток, формирование неравномерных структур потока и т.д.). Результатом проведенных исследований является построенная принципиальная тепловая схема, подобранная рациональная компоновка основного оборудования и параметры рабочего тела цикла на CO_2 , проведенный анализ полученных результатов и намечены пути дальнейшей работы.

Литература

1. **Kupetz M., Jenikejew E., Hiss F.** Модернизация и продление срока эксплуатации паротурбинных электростанций в Восточной Европе и в России // ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. 2014. № 6.
2. **Shubenko A., Babak M., Senetskyi O., Tarasova V., Goloshchapov V., Senetska D.** Economic assessment of the modernization perspectives of a steam turbine power unit to the ultra-supercritical operation conditions // International Journal of Energy Research. 2022. <https://doi.org/10.1002/er.8650>.
3. **Moroz L., Frolov B., Burlaka M.** A New Concept to Designing a Combined Cycle Cogeneration Power Plant. <https://www.softinway.com/wp-content/uploads/2014/12/A-New-Concept-to-Designing-a-Combined-Cycle-Cogeneration-Power-Plant-Article.pdf>.

Цзиньфа Го, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК CNPC JICHAI В РОССИИ

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.

В марте 2023 года группа компаний «Интертехэлектро» (ИТЭ) и Jichai заключили соглашение, в котором определялись основные направления и принципы сотрудничества в сфере использования и продвижения продукции Jichai в России [1].

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.

Соглашение предусматривает трехэтапный переход от крупноузловой сборки энергоустановок к их частичному, а затем и полному производству, включая выпуск запасных частей на Курганском заводе комплексных технологий (КЗКТ), который входит в ИТЭ.

В ходе реализации первого этапа компания Jichai начала поставлять в г. Курган SKD-комплекты газопоршневых установок Jichai 1100GF-T и двигатели для их сборки. В данный момент на КЗКТ уже собрана первая партия локализованных установок Jichai 1100GF-T. На первом этапе сотрудничества полностью освоена сборка шкафов и элементов управления, а также ведутся работы по локализации опорных конструкций ГПУ. На втором этапе на производственной площадке КЗКТ начнется сборка двигателей из поставляемых китайской стороной комплектов. С 2028 года в Кургане планируется начать изготовление основных элементов двигателей и запасных частей. Будут осваиваться и другие модели газопоршневых установок Jichai, а именно — Jichai 2000 GF-T мощностью 2000 кВт. Начало производства данной модели на КЗКТ запланировано на 2025 год [2].

Литература

1. **Сигидов Я.Ю.** Газопоршневые установки компании CNPC Jichai будут собирать в России // Турбины и Дизели. 2023, № 5. — С. 58–61.
2. **Сигидов Я.Ю., Кузнецов Д.А.** На Курганском заводе комплексных технологий началась сборка ГПУ производства CNPC Jichai // Турбины и Дизели. 2024, № 4. — С.86–88.

Цю Гуйбинь, студ.; рук. А.А. Дудолин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРЕВОД ПАРОСИЛОВОГО ЭНЕРГОБЛОКА 550 МВт С УГЛЯ НА ГАЗ

Изменение климата — большая проблема, с которой сегодня сталкивается все человечество. CO₂, выбрасываемый в атмосферу при сжигании ископаемого топлива, способствует глобальному потеплению. Китай является не только крупнейшим в мире потребителем угля, но и крупнейшим эмитентом CO₂, который в 2013 году на долю ископаемого топлива пришлось 8,977 гигатонн выбросов.[1][2] Угольные электростанции ежегодно потребляют большое количество угля. Программа перевода угля на газ не только сокращает использование угля, но и повышает тепловую эффективность котлов и снижает расход топлива. В данной работе рассматривается программа перевода угольного котла на газ для угольного энергоблока мощностью 550 МВт в Китае. Для моделирования сценария установки используется программа *thermoflow*, в которой заданы рабочие параметры, выбросы загрязняющих веществ и т.д. В то же время подкритический котел заменяется на сверхкритический, и рассчитываются рабочие параметры установки до и после перевода угля на газ. Сравнивались рабочие параметры до и после конверсии угля в газ, а также рабочие параметры установки до и после повышения давления пара на выходе. Было обнаружено, что тепловой КПД котла увеличился более чем на один процентный пункт после перевода угля в газ, а КПД теплового цикла увеличился более чем на один процентный пункт после увеличения начальных параметров пара на выходе в ПТУ.

Литература

1. IEA (International Energy Agency), CO₂ emissions from fuel combustion highlights 2015, 2017 (accessed 26.05.17).
2. Z. Liu, D. Guan, W. Wei, S.J. Davis, P. Ciaais, J. Bai, S. Peng, Q. Zhang, K. Hubacek, G. Marland, R.J. Andres, D. Crawford-Brown, J. Lin, H. Zhao, C. Hong, T.A. Boden, K. Feng, G.P. Peters, F. Xi, J. Liu, Y. Li, Y. Zhao, N. Zeng, K. He, Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China, *Nature* 524 (2015) 335–338.

Н.В. Чазов, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДПИТКИ ТЕПЛОСЕТИ

Повышение использования теплоты топлива является одним из основных направлений развития энергетики. При этом использованию низкопотенциального тепла уделяется недостаточное внимание. Одним из направлений повышения использования низкопотенциального тепла является совершенствование систем подготовки подпиточной воды для теплосети.

Перед подачей подпиточной воды в систему теплоснабжения ее деаэрируют. Вода поступает в деаэратор подпитки из системы водоподготовки с температурой 30–40°C. Для обеспечения содержания кислорода в деаэрированной воде не более 50мкг/л необходимо поддерживать нагрев подпиточной воды в деаэраторе на уровне 15–20°C [1]. Поэтому для этих целей предусматривается подогрев воды, идущей на деаэрацию. Как правило для этих целей используется пар от общестационарных магистралей с давлением 0,8–1,3МПа и температурой пара 250–280°C, что приводит к снижению эффективности эксплуатации.

В данной работе рассматривается установка подогревателя, где в качестве греющей среды используется деаэрированная подпиточная вода после деаэратора (рисунок 1).

Для оценки эффективности схемы были проведены расчетные исследования на примере ТЭЦ с турбинами Т-250-240. Расчеты проведенные при величине подпитки теплосети 1%, 3% и 5% показали, что снижение расхода условного топлива на отпускаемую электрическую энергию достигает 0,400 г.у.т./кВт*ч. Экономический эффект составляет от 1,48 млн.руб. до 7,11 млн.руб. в год.

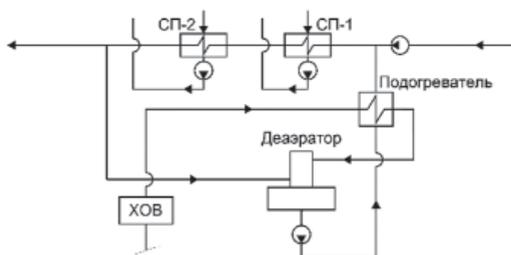


Рис. 1. Предлагаемая система подпитки теплосети

Литература

1. СП 124.13330.2012. Тепловые сети (заменяет СНиП 41-02-2003). Москва: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012.

М.А. Михайлин, студ.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ПГУ-460 ДЛЯ КАШИРСКОЙ ГРЭС

Парогазовый дубль-блок мощностью 460 МВт предназначен для выработки электроэнергии. В состав новой очереди Каширской ГРЭС входят два дубль-блока ПГУ-460 МВт. Тепломеханическая часть блока состоит из следующего оборудования: две газотурбинные установки типа ГТЭ-170.1; два двухконтурных паровых котла-утилизатора типа Е-226/52,3-7,7/0,6-519/205-12,5вв; теплофикационная паровая турбина Кт-163/165-7,3. Ниже приведены основные характеристики этого оборудования [1]:

Таблица 1. Характеристики ПГУ-460

№ п/п	Наименование параметра	Значение	Размерность
ГТУ			
1	Электрическая мощность	146,6	МВт
2	Расход газа за ГТУ	502,9	кг/с
3	Температура газов за турбиной	544,4	°С
КУ			
4	Паропроизводительность контура ВД/НД	226/52,3	т/ч
5	Давление пара ВД/НД	7,67/0,59	МПа
6	Температура пара ВД/НД	519,1/205,4	°С
7	Расчётное аэродинамическое сопротивление	≤3	кПа
8	Температура уходящих газов за КУ	106	°С
ПГУ			
9	Электрическая мощность	163	МВт
10	Давление пара ВД/НД перед турбиной	7,3/0,567	МПа
11	Температура пара ВД/НД перед турбиной	516,18/203	°С
12	КПД ПГУ брутто	51,67	%

* Данные предоставлены для гарантийного режима работы Каширской ГРЭС: нагрузка блока 100%; Т_{нв}=+15°С; Т_{охл. воды}: 12°С; Расход охлаждающей воды: 28 500 м³/ч. Тепловая нагрузка 16,2 Гкал/ч. Температура обратной сетевой воды 70°С, температура прямой сетевой воды 100°С.

Литература

1. АО «Интер РАО — Электрогенерация»: официальный сайт. — Россия. — URL: <https://www.iraogeneration.ru> (дата обращения 01.10.2023)

М.А. Михайлин, студ.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГТУ СЕМЕЙСТВА V94.2 (ГТЭ-160)

Энергетическая газотурбинная установка (ГТУ) V94.2 была разработана фирмой Siemens почти 40 лет назад. За это время они получили широкое применение в мировой энергетике, в том числе в России. Фирма Siemens постоянно совершенствует ГТУ. С 2001 г. ОАО «Силовые машины» получила права на производство и продажи данной ГТУ под собственной маркой ГТЭ-160. ГТЭ-160 была установлена на Калининградской ТЭЦ-2, на ТЭЦ-12, 21 и 27 ПАО «Мосэнерго» и др. Фирмой Siemens эта турбина маркируется как SGT5-2000E и производит уже 9-ю версию. Номинальная выходная мощность ГТУ 198 МВт и электрический КПД 37,6% [1].

Компания MAPNA (Иран) производит модернизированную версию ГТУ V94.2 под маркировкой MGT-70. 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% [2].

С 2019 г. фирма «Силовые машины» (Россия) приступила к реализации проекта создания российских ГТУ ГТЭ-170.1 и ГТЭ 170.2 на базе ГТЭ-160 (V94.2) [3]. Первые ГТЭ-170.1 (изготовлено 2 машины) планируются к установке в составе дубль-блочной ПГУ-460 на Каширской ГРЭС. В дальнейшем планируется модернизация ГТЭ-170.1 в ГТЭ-170.2, их первые образцы так же планируется установить в составе дубль-блочной ПГУ-500 на Каширской ГРЭС. Номинальная выходная мощность ГТУ 155,3 МВт, электрический КПД 34,1%, расход газов на выходе 509 кг/с и температура на выходе турбины 538°C, для ГТЭ-170.1, а для ГТЭ 170.2 мощность составит 170 МВт, электрический КПД 35,1%, расход газов на выходе 535 кг/с и температура на выходе турбины 539°C. Данные предоставлены в условиях ГОСТ Р 52200-2004 ($t_n=+15$ °C, $p_n=0,1013$ МПа, относительная влажность=60%, топливо 100% метан $Q_p^H=50$ МДж/кг) [3].

Литература

1. **Siemens Energy**: официальный сайт. — Германия. — URL: <https://www.siemens-energy.com/> (дата обращения 01.10.2024).
2. **MAPNA GROUP TUGA**: официальный сайт. — Иран. — URL: <https://www.mapnaturbine.com/> (дата обращения 01.10.2024).
3. **Силовые машины**: официальный сайт. — Россия. — URL: <https://www.power-m.ru> (дата обращения 01.10.2024).

*В.Д. Уланов, студ., О.В. Некрасов, асп.;
рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТУРБИНЫ Т-250/300-23,5

Энергоблоки на базе турбины Т-250/300-23,5 Уральского турбинного завода являются самыми мощными паротурбинными теплофикационными блоками в РФ. С 1970 г. В период СССР на 11 крупных ТЭЦ было установлено 29 турбин, из них 19 в ПАО «Мосэнерго». На ТЭЦ-22 Мосэнерго в 2014-2022 г. была проведена замена одного из энергоблоков на новый с турбиной Т-295/335-23,5 [1]. Однако при реализации данного проекта возникли определенные трудности, в первую очередь связанные с размещением нового оборудования в существующей ячейке.

По оценке «Системного оператора ЕЭС» (СО ЕЭС) в ближайшие годы прогнозируется рост электропотребления в московском регионе [2]. Для покрытия дефицита энерго мощностей в южной части энергосистемы Москвы рассматривается возможность модернизации 3 энергоблоков на ТЭЦ-23 и ТЭЦ-25. Учитывая опыт работы на ТЭЦ-22 рассматривается возможность установки в старых ячейках новых турбин Т-259/307-23,5 с улучшенными характеристиками: электрическая мощность увеличивается на 3,6%; установленная тепловая мощность возрастет с 330 до 345 Гкал/час;

Тепловая схема, параметры острого пара аналогичны Т-250/300-23,5.

В дальнейшем «Мосэнерго» рассматривает возможность установки по одному энергоблоку на ТЭЦ-25 и ТЭЦ-26 в новых главных корпусах на базе новой модификации турбины Т-275/320-240, которая разрабатывается Уральским турбинным заводом. Параметры свежего пара: давление — 23,5 МПа, температура — 540°C. В тепловой схеме предполагается использовать электропривода питательных насосов в количестве двух штук, за счет этого выработанная электрическая мощность возрастает до 275 МВт в номинальном теплофикационном режиме и до 320 МВт в максимальном конденсационном режиме.

Литература

1. **Буров В.Д., Некрасов О.В., Кожухарь С.Д.** Реконструкция паросилового энергоблока с турбиной Т-250/300-240. Материалы межд. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электро и теплотехнологии», 11 том «Теплотехника», Иваново, 2023, с. 46–48.
2. **Силовой Остров**, № 43, 2024, с. 3–9.

А.С. Красичков, асп., рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ТОПЛИВНОГО ГАЗА НА ВХОДЕ В КС ГТУ

Предварительный подогрев топлива на входе в камеру сгорания (КС) энергетических ГТУ позволяет повысить ее экономичность. Ведущие производители ГТУ достаточно широко применяют данное мероприятие указывая в технических требованиях (ТТ) предельную температуру, до которой возможен подогрев топлива без внесения дополнительных конструктивных изменений в КС. На сегодняшний день данная температура у мировых лидеров энергетического машиностроения достигает 180°C [1].

При разработке системы подогрева топливного газа необходимо также учитывать требования к газообразному топливу на входе в КС ГТУ, требования к топливному хозяйству и системам топливоподдачи ТЭС. Эти требования влияют на допустимый верхний и нижний температурные пределы. Температура подаваемого топлива должна быть выше точки росы всех его компонентов, чтобы обеспечить нормальное смешивание и предотвратить конденсацию водяных паров в КС. Повышение температуры воздуха приводит к изменению объемного расхода топливного газа. Для поддержания постоянного объемного расхода требуется увеличить скорость подачи топлива в КС. Оценка возможности использования конкретного топлива, регулировки и доводки КС в рамках допустимых отклонений производится при помощи расчета модифицированного индекса Воббе, который учитывает изменение температуры топлива относительно температуры окружающего воздуха.

$$MWI = \frac{Q_i^f}{\sqrt{\frac{T_g \cdot \rho_g}{T_b \cdot \rho_b}}} \quad (1)$$

где Q_i^f — низшая теплотворная способность газа; $\sqrt{\rho_g/\rho_b}$ — относительная плотность смеси газа и воздуха; $\sqrt{T_g/T_b}$ — относительная температура смеси газа и 0°C.

На основании данного критерия для топливного газа Няганской ГРЭС с $Q_i^f = 48,89$ МДж/кг определено, что при подогреве на 10°C, значение модифицированный индекса Воббе возрастает на 1,7% для данного диапазона изменения температур: 0÷120°C.

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.

И.И. Побережец, асп.;
рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЭЦ В УСЛОВИЯХ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

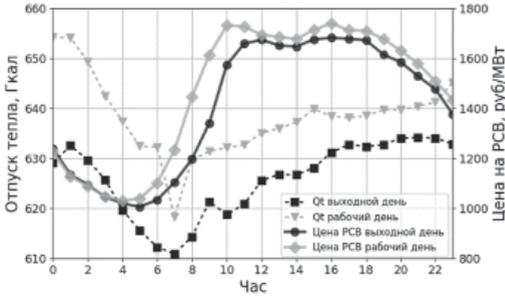


Рис. 1. Изменение тепловой нагрузки и цен на электроэнергию в течении выходных и рабочих дней

отнесенных на её производство. Если цена в заявке оказалась ниже равновесной цены РСВ, то заявка отбирается на рынок [1]. Эффективность работы станции на рынке можно оценить по формуле (1):

$$Mд = N_э \cdot (\Pi_{ээ} - b_э \cdot \Pi_т) \quad (1)$$

где $Mд$ — маржинальный доход, руб; $\Pi_{ээ}$, $\Pi_т$ соответственно цена электроэнергии и цена топлива; $b_э$ — удельный расход топлива, кг.у.т./кВт·ч; $N_э$ — мощность, кВт.

Тепловая нагрузка ТЭЦ может существенно меняться в течении суток (рис. 1). Важно знать прогноз изменения тепловой нагрузки, чтобы подать заявку с учетом изменения суточного отпуска тепла. В часы ночного провала тепловая нагрузка отличается от тепла отпускаемого по температурному графику теплосети [2]. Работа в ночные часы с увеличенным конденсационным пропуском пара для поддержания минимальной нагрузки, поданной в заявку на РСВ, приводит к резкому росту удельного расхода топлива на выработку электроэнергии (0,380–0,400 кг.у.т./кВт·ч). В результате работы с увеличенным конденсационным пропуском пара, ТЭЦ несет убыток в диапазоне 600–800 рублей на каждый МВт, вырабатываемой в таком режиме.

Литература

1. Приложение № 5 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. Регламент подачи ценовых заявок участниками оптового рынка [Официальный сайт] <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1962> (дата обращения 01.11.2024).
2. Ильин Е.Т., Куличихин В.В., Ломакин Б.В. Влияние динамики теплосети на режиме работы энергоблоков с турбинами Т-250/300-240 // Электрические Станции. 1996. № 3. С. 22–26.

Д.А. Лымарев, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВАКУУМА В КОНДЕНСАТОРЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ЦНД И ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ В ЦЕЛОМ

Вакуум в конденсаторе является одним из основных параметров, определяющих термодинамическую эффективность цикла паротурбинной установки. В реальных условиях эксплуатации он может значительно меняться, что влияет на эффективность и надёжность ТЭС. Ранее на ТЭС широко использовались прямоточные системы технического водоснабжения, обеспечивающие высокий уровень вакуума в течение всего года. В связи с растущим дефицитом водных ресурсов, для нужд технического водоснабжения теперь допускается проектировать только оборотные системы технического водоснабжения, в том числе, сухого типа. В этих условиях среднегодовая величина достигаемого вакуума в конденсаторе турбин может меняться в широких пределах (от 3 до 20 кПа) в зависимости от типа системы технического водоснабжения. Это приводит к ограничениям на использование оборудования в связи с достижением максимально допустимого давления в конденсаторе паровой турбины.

Относительно небольшое повышение от расчётного давления 3,5 кПа до 7–12 кПа приводит, в первую очередь, к существенному уменьшению располагаемого теплоперепада паровой турбины, и, соответственно, к снижению её мощности. Кроме того, для современных турбин с большими высотами лопаток последних ступеней повышение давления на выходе ЦНД и соответствующее ему сокращение объёмного расхода пара в 2–3 раза приводит к снижению КПД лопаточного аппарата последних ступеней ЦНД [1]. Также следует учитывать, что турбины работают в условиях переменного режима работы. В ночные часы, когда температура наружного воздуха ниже, а оборудование разгружается до технологического минимума, снижение давления в конденсаторе не компенсирует массовое снижение расхода пара и последние ступени работают в нерасчётном режиме.

Оценка потерь и ограничений от изменения вакуума в конденсаторе и режима работы для турбины К-300-240 ЛМЗ

	$D_0 = 940 \text{ т/ч}$		$D_0 = 450 \text{ т/ч}$	
	3,5	12	3,5	12
Давление в конденсаторе P_k , кПа	3,5	12	3,5	12
КПД последней ступени, %	71,5	64,4	69,3	46,9
Снижение мощности от увеличения P_k , МВт	0	27,02	0	13,22
Потери мощности от снижения КПД, МВт	0	1,05	0,23	0,86

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.

М.А. Беляев, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ТЭЦ ПУТЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМПЕРЕГРЕВА

Большинство действующих мощных ТЭЦ были построены около 40 лет назад и более и в настоящее время физически и морально устарели и требуют своей модернизации и технического перевооружения. Поэтому перед энергетикой России стоит сложная задача модернизации и технического перевооружения действующих ТЭЦ. Комбинированное производство тепловой и электрической энергии является одним из наиболее эффективных способов использования теплоты топлива. Однако, сезонность тепловых нагрузок, делает большинство оборудования действующих ТЭЦ в летний период неконкурентоспособными в условиях рынка электроэнергетики.

Целью данных исследований является определение концепции модернизации действующих ТЭЦ, которая при минимальных затратах позволила бы повысить их конкурентоспособность и эффективность. Особенность такой реконструкции заключается в том, что электрическая мощность турбоагрегата остается без изменения, а отпуск тепла от отборов снижается. Снижение потребления тепловой нагрузки наблюдается последние 15 лет. Это обусловлено повышением энергосбережения при новом строительстве и выводом ветхого жилья [1]. Такая реконструкция позволяет перевести действующие котлы на работу с промперегревом при снижении паропроизводительности. При этом мощность турбины сохраняется за счет наличия промперегрева и повышается экономичность работы оборудования и увеличивается относительная нагрузка отборов турбин при работе по тепловому графику.

Проведены расчетные исследования использования промперегрева на турбинах типа Т-110-130 при их модернизации. Определено повышение тепловой экономичности и условия эффективного использования турбоагрегатов. Полученные результаты показывают целесообразность такой модернизации. По сравнению с техническим перевооружением с использованием турбин без промперегрева.

Литература

1. СП 124.13330.2012. Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.

*Ю.А. Макаркин, студ.; А.Р. Богдан, асп.;
рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВИПРОИЗВОДНЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

На текущий момент, в эксплуатации находятся авиапроизводные энергетические турбины. Большая их часть, основана на базе авиационного двигателя ПС-90А и его модификаций. Также, в АО «ОДК-Авиадвигатель» ведутся работы по разработке энергетической турбины на базе нового авиационного двигателя ПД-14. Отличительной особенностью таких ГТУ, является их многовальное исполнение. Рабочее тело в авиапроизводных ГТУ, как и в энергетических, это смесь продуктов сгорания топлива и сжатого в компрессоре атмосферного воздуха [1]. Из-за присутствия в последнем, взвешенных частиц с размером от 0,1 до 10 мкм, в проточной части компрессора могут появиться загрязнения или коррозионные процессы [2]. Для предотвращения таких явлений, в составе КВОУ авиапроизводных ГТУ, предусмотрены многоступенчатые системы фильтрации воздуха (СФ). Оценить эффективность той или иной СФ, можно по изменению приведенной электрической мощности, а также приведенного удельного расхода топлива определяющихся по методике, описанной в стандарте [3].

В отличие от энергетических ГТУ, при анализе авиапроизводных ГТУ используется меньшее число поправочных кривых, либо вообще не используется по причине их отсутствия, для оценки активной мощности, КПД, расхода топлива и др. Для примера, при анализе работы ГТУ-16ПА на Пермской ТЭЦ-13, помимо использования поправок на температуру воздуха перед компрессором, было необходимо зафиксировать такие параметры как частота вращения ротора компрессора и газогенератора в узком диапазоне (10 об/мин) и температуру выхлопа ГТУ. Для анализа работы компрессора, было необходимо зафиксировать давление и температуру атмосферного воздуха. В результате удалось получить данные о деградации мощности ГТУ, изменении удельного расхода топлива, степени сжатия в компрессоре, без поправочных кривых — по фактическим данным.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Издательство МЭИ, 2002. — 459 с.
2. **Wilcox M., Kurz R., Brun K.** Technology Review of Modern Gas Turbine Inlet Filtration Systems // International Journal of Rotating Machinery, 2012. — p. 1–15.
3. **ГОСТ Р 55798-2013 (ИСО 2314:2009).** Установки газотурбинные. Методы испытаний. Приемочные испытания. — М.: Изд-во стандартов, 2015. — 46 с.

А.И. Кремер, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭНЕРГБЛОКАХ НА СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

В настоящее время для повышения экономичности паротурбинных энергоблоков в мире широко используют оборудование на суперсверхкритические параметры [1]. Работу над такими проектами ведут практически все страны, производящие энергетическое оборудование большой мощности. При этом существенное внимание уделяется повышению параметров, но недостаточно совершенствованию технологических схем.

В данной работе проводится расчетный анализ повышения эффективности условного энергоблока на суперсверхкритические параметры $P_0=29\text{МПа}$ и $T_0/T_{\text{нп}}=600/600^\circ\text{C}$, мощностью 350МВт, путем использования на подогревателях низкого давления охладителей пара.

В качестве примера рассматривается схема регенеративного подогрева приведенная на рис.1 при наличии и отсутствии охладителей пара на ПНД 4 и ПНД3.

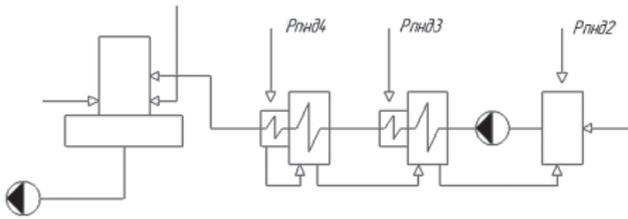


Рис. 1. Схема регенерации ПНД

Результаты расчета тепловой схемы показывают, что в результате повышения параметров промперегрева до 600°C , пар, поступающий на регенеративные подогреватели, имеет существенный перегрев, по отношению к температуре насыщения в ПНД (табл.1).

Таблица 1. Параметры пара в ПНД

ПНД 3	$t_s=132,4^\circ\text{C}$	$t_n=234,4^\circ\text{C}$
ПНД 4	$t_s=164,3^\circ\text{C}$	$t_n=326,7^\circ\text{C}$

Использование охладителей пара, позволяет снизить недогрев в ПНД на 2,5–3 $^\circ\text{C}$. По предварительной оценке, экономия топлива при использовании блока в течение 6000 часов в год, составит более 344 т/год. Общий экономический эффект составит 1,9 млн. рублей в год, что обеспечивает окупаемость усложнения конструкции ПНД в течение 3 лет.

Литература

1. Н.Д. Рогалев, А.А. Дудолин, Е.Н. Олейникова Тепловые электрические станции — М.: Издательство МЭИ, 2022. — 768 с.

Д.С. Федоров, асп.;
рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК К ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕПЛОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГТУ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Парогазовые установки (ПГУ), обладающие в сравнении с паросиловыми энергоблоками высокими показателями тепловой экономичности, в настоящее время обеспечивают существенную долю генерации электрической энергии в России. На этапе проектирования и освоения ПГУ в основном решены задачи выбора и обоснования компоновочных и конструктивных решений, параметров теплоносителя в водопаровом тракте, тепловых схем. На этапе эксплуатации существенные резервы тепловой экономичности связаны с режимной оптимизацией, предусматривающей перераспределение электрических и тепловых нагрузок между параллельно работающими агрегатами, в том числе ПГУ и установками паросилового цикла.

Решение задач режимной оптимизации сопряжено с необходимостью разработки математических моделей, с достаточной точностью описывающих характеристики действующего оборудования в возможных режимах эксплуатации. Опыт предшествующих исследований [1] показывает, что в качестве основы для моделирования наиболее перспективным является использование нормативных энергетических характеристик оборудования с введением соответствующих поправок на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий. Для паросиловых энергоблоков эта задача в целом решена. Для ПГУ и, в частности, для газотурбинных установок (ГТУ) отсутствуют в достаточной мере обоснованные методы расчета таких поправок.

Предлагается способ определения поправок к основным и промежуточным показателям тепловой экономичности ГТУ на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий в виде мультипликативных функций, идентификация которых выполняется по фактическим эксплуатационным данным методами множественного регрессионного анализа. Решение поставленной задачи иллюстрируется применительно к ГТУ типа GTX-100 и SGT-800 номинальной электрической мощностью 43 и 45 МВт соответственно.

Литература

1. Программный комплекс «ТЭС-Эксперт»: опыт оптимизации режимов работы оборудования ТЭЦ / Барочкин Е.В., Поспелов А.А., Жуков В.П., Андреев А.А., Ледуховский Г.В., Борисов А.А. // Вестник ИГЭУ. 2006. № 4. С. 3–6.

Д.С. Федоров, асп.;
рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

СОПОСТАВЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ И НОМИНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТУ

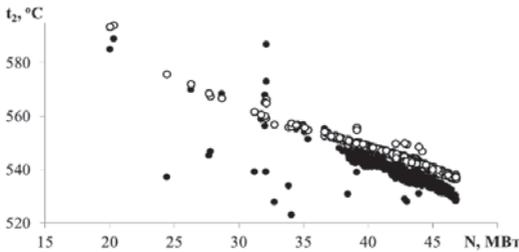


Рис. 1. Результаты сопоставления:
 t_2 , °C — температура уходящих газов ГТУ;
N, МВт — электрическая мощность ГТУ;
○ — расчет по НЭХ с поправками;
● — по данным учета фактических показателей
(данным АСУ ТП)

Для оптимизации работы оборудования ТЭС необходимо располагать математическими моделями, с приемлемой точностью описывающими параметры действительных режимов его эксплуатации. Часто такие модели разрабатываются на основе нормативных энергетических характеристик (НЭХ) оборудования, которые с введением комплекса поправок на отклонение значений внешних факторов

от фиксированных условий позволяют получать номинальные значения показателей тепловой экономичности (ПТЭ) в каждом конкретном режиме.

Чем больше различаются номинальные и фактические значения ПТЭ для одних и тех же условий ($\Delta\Pi_i$), тем хуже прогностические возможности математической модели. Поэтому на начальном этапе построения модели важно определить диапазоны возможных значений $\Delta\Pi_i$ по каждому интересующему ПТЭ. В докладе решение такой задачи рассматривается применительно к газотурбинной установке (ГТУ) типа SGT-800. На рисунке в качестве примера приведены данные по температуре уходящих газов ГТУ. Фактические значения получены в результате измерений, номинальные значения рассчитаны для тех же режимов по НЭХ с введением соответствующих поправок.

Видно, что в данном случае НЭХ с комплексом поправок не позволяют прогнозировать рассматриваемый параметр ГТУ с приемлемой точностью. Аналогичная ситуация выявлена и по другим ПТЭ. Такой результат ставит задачу уточнения существующих либо разработки дополнительных поправок к НЭХ.

Н.М. Певницкий, студ. ;
рук. Д.В. Горбуров, к.т.н., доц. каф. ТЭС (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ СНЕГОПЛАВИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В России постоянно ведутся работы по оптимизации и увеличению эффективности работы энергосистемы и расходов на обслуживание городских нужд. Одна из многих актуальных проблем, в частности для города Москвы, это утилизация снега на снегоплавильных пунктах [1]. Большое количество снежных масс в дворах жилых и подобных строениях не утилизируются. Предлагается решить данную проблему с помощью установки мобильных снегоплавильных установок (МСУ) с использованием в качестве теплоносителя/тепла для плавки снега обратной сетевой воды, присоединение к которой предлагается осуществлять около ЦТП. Принципиальная схема с указанием основных элементов данного агрегата представлена на рисунке 1.

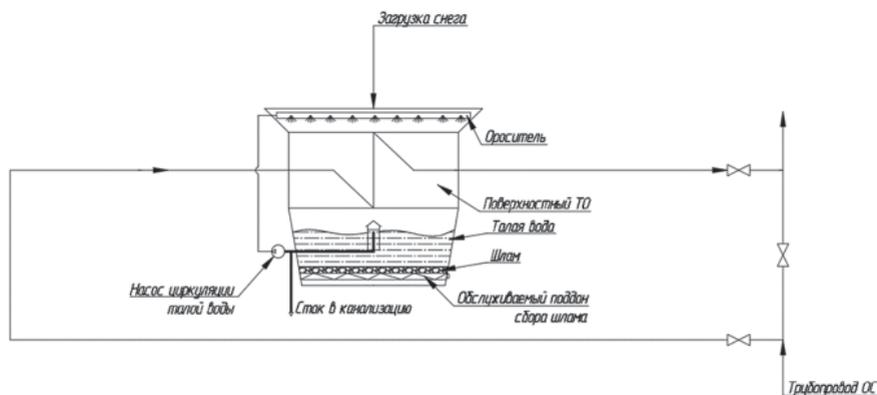


Рис. 1. Принципиальная схема МСУ

Использование таких установок влечёт за собой получение экономической выгоды: серьёзное удешевления утилизации снега для ЖКУ из-за сокращения плеча подвоза и увеличение выработки ЭЭ в когенерационном цикле из-за большего потребления тепла от ТЭЦ [2].

Литература

1. Живов М.А., Лившиц Б.А. Организация уборки городов, М., 2018.
2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. Спец. вузов. — М.: Энергия, 1987.

Секция 50
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

*Посвящается 125-летию
со дня рождения основателя
кафедры автоматизированных
систем управления
тепловыми процессами
доктора технических наук,
профессора и первого
заведующего кафедрой
Герасимова Сергея Григорьевича*



*А.Д. Авдеев, студ.; А.А. Орлов, Е.В. Крылова;
рук. А.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

В настоящее время РФ в целом, и энергетическая область в частности, находятся под жестким санкционным давлением со стороны стран — бывших партнеров, в связи с чем остро встал вопрос о необходимости создания собственных парогазовых установок. Наиболее слабым элементом ПГУ являются газовые турбины большой мощности, которые, в отличие от турбин малой и средней мощности, имеют более сложные и длительные циклы производства, эксплуатации и ремонта [1].

После долгих лет испытаний, в 2023 году завершены испытания первой, полностью отечественной, серийной газовой турбины большой мощности ГТД-110М, для безопасной и длительной эксплуатации которой необходимо создание и применение новых подходов.

Технологический объект управления представляет собой газовую турбину ГТД-110М, работающую на жидком или газообразном топливе. Данная турбина предназначена для привода электрогенераторов как в составе газотурбинных парогазовых установок большой мощности (от 170 до 495 МВт), так и газотурбинных энергетических установках (115 МВт).

Целью работы является совершенствование программно-технических средств для автоматизации газотурбинной установки.

Опираясь на фундаментальные работы [2], разработана функциональная схема технологического участка, произведён подбор первичных и вторичных измерительных приборов, выбран программно-технический комплекс.

Литература

1. **Иноземцев А.А.** Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. — Пермь: ОАО «Авиадвигатель» 2006 г. — 1204 с.
2. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов, обучающихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (энергетика): учебное пособие для системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала энергетических компаний, а также для вузов, осуществляющих подготовку энергетиков / В.Я. Ротач. — 5-е изд., / перераб. и доп. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2008. — 394 с.

*А.А. Орлов, к.т.н., доцент; В.М. Щербаков, асп.;
Е.В. Крылова, к.п.н., доцент; А.А. Сириченко, к.т.н., доцент;
рук. А.А. Орлов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МОЩНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При растущих требованиях к энергоэффективности и экологичности, надежная диагностика энергоемкого и мощного энергетического оборудования (ЭиМЭО) становятся важными аспектами для обеспечения его безотказной работы [1].

Существующие методы диагностирования не в полной мере удовлетворяют современным требованиям по надежности и эффективности, поэтому интеллектуализация автоматического параметрического диагностирования ЭиМЭО, в частности газовых турбин ГТД [2] большой мощности является актуальным и перспективным направлением [3–5] для повышения оперативности диагностирования и устранения возможных сбоев, с целью обеспечения надежной и безопасной работы и содействует минимизации временных и финансовых затрат.

В рамках НИР ГТД рассматривается как объект управления, разрабатывается структурная схема и синтезируются алгоритмы выявления неисправностей и прогнозирования остаточного ресурса, проводятся экспериментальные исследования.

Литература

1. **Новиков А.С., Пайкин А.Г., Сиротин Н.Н.** Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей. М.: Наука, 2007 — 469 с.
2. **Иноземцев А.А.** Газотурбинные двигатели. М.: ОАО «Авиадвигатель» 2006 — 1204 с.
3. **Щербаков В.М., Пыткина Е.А., Орлов А.А., Крылова Е.В., Сириченко А.А.** Интеллектуализация автоматизированного параметрического диагностирования элементов ГТД большой мощности // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. — С. 1342.
4. **Орлов А.А., Крылова Е.В., Щербаков В.М., Кенжалыев А.М., Авдеев А.Д.** Цифровизация элементов объектов энергетической отрасли на примере лопатки газотурбинного двигателя // Инновационные перспективы Донбасса. — Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. — С. 154.
5. **Орлов А.А., Крылова Е.В., Щербаков В.М., Будадин О.Н., Калашников Е.А.** Интеллектуальная система автоматического управления технологическими режимами работы энергоемкого агрегата // Электротехническая сталь 2024 — Москва: НИТУ МИСИС, 2024. — С. 40.

А.А. Барбашин, студ.;
рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ Т-125/150 ПРИ ЕЕ РАБОТЕ В БЕСПАРОВОМ МОТОРНОМ РЕЖИМЕ

Моторный режим турбогенератора — это режим работы турбоустановки, без подачи свежего пара на турбину без отключения генератора от сети, который при этом переходит в режим двигателя и вращает ротор турбины с синхронной частотой.

Существуют различные способы вывода в резерв агрегатов ТЭС при прохождении провалов графиков энергетической нагрузки. Моторный режим имеет определенные преимущества, такие как: отсутствие технологических операций при запуске турбины из остановленного состояния и, как следствие, значительное снижение вероятности аварий, возможность потребления излишней реактивной мощности из сети или выработки ее при нехватке [1]. Эти преимущества делают моторный режим эффективной альтернативой другим способам резервирования.

Такой вид работы уже был изучен ранее, но существующие математические модели имеют ряд значительных допущений, и их анализ показал необходимость доработки и совершенствования моделей и расчетов. Одна из основных проблем, которая была взята во внимание, это способы охлаждения проточной части паровой турбины во время ее работы в моторном режиме путем подачи охлаждающего пара. А также определение основных параметров пара: расходы и температуру. Начальным этапом решения этих проблем является исследование беспарового моторного режима без подачи охлаждающего пара.

В рамках прорабатываемой работы были выполнены следующие этапы: разработка модели и алгоритма процесса работы ступеней турбины в беспаровом режиме с подачей пара на концевые уплотнения; учет потерь в окружающую среду, расчет при переменных расходах охлаждающего пара.

В дальнейшем планируется завершение математической модели, в ней будут учтены основные физические процессы: теплообмен с окружающей средой и точки смешения пара в местах концевых уплотнений с паром в рабочей зоне.

Литература

1. **Аракелян Э.К., Старшинов В.А.** Повышение экономичности и маневренности оборудования тепловых электростанций // Москва, Издательство МЭИ, 1993.

*Д.М. Красненко, аспирант;
рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

АКТУАЛЬНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ АГРЕГАТНОГО УРОВНЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ

Задача повышения интеллектуальности в сфере АСУ ТП является одной из наиболее актуальных в настоящее время. В данной статье описывается алгоритм определения экономической эффективности и целесообразности интеллектуализации агрегатного уровня АСУ ТП ТЭС.

В энергетике есть два направления оценки эффективности интеллектуальных систем:

- техническая целесообразность (даже если экономически интеллектуализировать систему не выгодно, но необходимо технически);
- оптимальность технико-экономических показателей [1].

Теоретически интеллектуализация может охватить все функции управления тепловыми процессами, но стоимость такой системы будет слишком большой. Следовательно, необходимо подвергать интеллектуализации лишь часть функции управления, для чего выбираются задачи, автоматизация которых дает наибольший экономический эффект.

В статье анализируются возможные направления интеллектуализации АСУ ТП агрегатного уровня и производится выбор наиболее важных из них. Тем самым определяется целесообразный объем автоматизации управления процессом [2].

В связи с этим определены задачи и функции интеллектуализации измерительных датчиков. Представлен алгоритм функционирования интеллектуального датчика и разработана концепция моделирования и проектирования интеллектуальных датчиков.

Актуализирована методология определения уровня интеллектуализации агрегатного уровня АСУ ТП. Произведена оценка технико-экономических показателей и целесообразность от внедрения интеллектуальных датчиков.

А также определены функции управления, которые необходимо интеллектуализировать чтобы достичь оптимального уровня интеллектуальности (0,5, 0,7, 0,8) на агрегатном уровне управления.

Изложенные в статье проблемы и возможные методы повышения интеллектуальности агрегатного уровня управления позволяют определить степень эффективности работы интеллектуальных датчиков и целесообразный уровень интеллектуализации АСУ ТП ТЭС.

Литература

1. **А.В. Андрюшин, В.Р. Сабанин, Н.И. Смирнов.** Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, — 392 с.: ил.
2. **Аракелян Э.К., Андрюшин А.В. Мезин С.В., Сабанин В.Р., Косой А.А.** Подходы к повышению интеллектуальности АСУТП крупных электростанций путем решения оптимизационных задач блочного и станционного уровней // Сборник трудов MLSД'2018 под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна, — 2018. — Том 2. — С. 315–322.

*Р.С. Урвачев, студ.; А.В. Неклюдов, к.т.н., доц.;
рук. А.В. Андриюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ И ИНТЕГРАЦИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Рассмотрены основные этапы создания имитационной модели технологического оборудования, начиная с подготовки данных, полученных с различных приборов, и завершая интеграцией модели в системы управления. Первоначальный этап включает в себя сбор данных с измерительных устройств. Для повышения достоверности [1] данных проводится их проверка на аномалии и калибровка, что позволяет устранить погрешности.

Центральное место в модели занимают балансовые уравнения массы и энергии, которые устанавливают соотношения между различными потоками пара, тепла и других параметров, формируя физическую основу модели. Применение уравнений баланса позволяет более точно описывать энергетические процессы, происходящие в оборудовании, и воспроизводить их на уровне математической модели.

Для повышения качества модели используются методы регрессии [2] и медианного фильтра, которые помогают устранить шум и отклонения в данных. Данные, которые выходят за допустимые пределы, корректируются или исключаются из модели, обеспечивая более высокую точность моделирования.

Формирование имитационной модели завершается объединением откалиброванных данных и балансовых уравнений в единую систему. Далее модель подвергается оптимизации, что позволяет настраивать её параметры для различных рабочих режимов и минимизировать отклонения при прогнозировании.

Литература

1. **Урвачев, Р.С.** Численное исследование способа оценки технического состояния конденсационной установки котельного агрегата с помощью физико-математической модели / Р.С. Урвачев, А.С. Шабунин // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 29 февраля — 02 2024 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2024. — С. 1041. — EDN ICEWEN.
2. **Матинян, А.М.** Прототип цифрового двойника теплофикационной турбины: особенности разработки и результаты тестирования // Электрические станции. — 2024. — № 9. — С. 45–53: ил. — Библиогр.: 16 назв.

*Р.С. Урвачев, студ.; А.В. Неклюдов, к.т.н.;
рук. А.В. Андриюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ

Рассматриваются методы оценки и улучшения качества имитационных моделей, необходимых для точного воспроизведения энергетических процессов и повышения эффективности работы систем. Можно выделить основные метрики для оценки модели [1], такие как среднеквадратичная ошибка (MSE), коэффициент детерминации (R^2) и средняя абсолютная ошибка (MAE), которые помогают определить отклонения между прогнозами модели и фактическими данными. Важную роль в совершенствовании модели играет калибровка, где на основе исторических данных корректируются параметры для повышения точности.

Предлагаются подходы к оптимизации модели, включая использование более сложных математических методов (например, машинное обучение и анализ чувствительности), а также интеграцию [2] модели с системами реального времени. Рекомендуется проводить регулярную переоценку модели для поддержания её актуальности в условиях изменения параметров оборудования и внешних факторов.

Отдельное внимание уделено процессу верификации, который включает кросс-валидацию и сравнительный анализ данных для выявления отклонений. Использование диаграмм рассеивания помогает визуализировать согласованность результатов [1], что позволяет вносить корректировки на каждом этапе оценки модели. Регулярная оценка состояния модели, внедрение адаптивных алгоритмов и применение методов машинного обучения способны повысить точность прогнозов и обеспечить надёжность работы энергетической системы в условиях повышенных требований к устойчивости и эффективности.

Литература

1. **Матинян, А.М.** Прототип цифрового двойника теплофикационной турбины: особенности разработки и результаты тестирования // *Электрические станции*. — 2024. — № 9. — С. 45–53: ил. — Библиогр.: 16 назв.
2. **Урвачев, Р.С.** Численное исследование способа оценки технического состояния конденсационной установки котельного агрегата с помощью физико-математической модели // *Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов*, Москва, 29 февраля — 02 2024 года. — Москва: 2024. — С. 1041. — EDN ICEWEH.

Е.А. Ксёнда, А.С. Минина, Л.Л. Цецхладзе, А.М. Чернова, студ.;
рук. Г.В. Фарафонов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Исследования в области адаптации регуляторов имеют большое практическое значение. Зачастую точную модель объекта перед проектированием системы управления получить не удается. По этой причине, полученные в процессе проектирования системы автоматического управления с недетерминированными объектами, в которых численные значения настроечных коэффициентов контроллеров часто не соответствуют их оптимальным значениям. Они могут быть использованы для предварительной проверки работоспособности используемого алгоритма регулирования, или же используемой структуры системы управления. Финальный этап настройки САУ переносится на стадию ввода её в эксплуатацию на реальный объект, то есть производится адаптация регулятора под конкретный объект управления. Одним из наиболее удобных и целесообразных методов является адаптация контроллера с идентификацией объекта, то есть с экспериментальной оценкой его математической модели при использовании сигнального идентифицирующего воздействия [1]. Применение данного метода также целесообразно для алгоритмов автоматической настройки регуляторов, то есть самоадаптации регуляторов под объект управления в самонастраивающихся системах, однако процесс адаптации порой сложно автоматизировать полностью, поэтому ручная настройка регулятора в некоторых случаях остается в приоритете.

В данной работе приводятся результаты апробации алгоритма адаптации ПИ-регулятора на основе синусоидальных воздействий [2] в системе с объектом управления в виде электропечи. Регулятор реализован на базе программируемого логического контроллера ОВЕН. Программа для контроллера написана в среде CoDeSys. Также представлены результаты определения параметров модели объекта управления, и полученные по ней оптимальные значения параметров ПИ-регулятора.

Литература

1. **Кузицин В.Ф.** Определение параметров модели объекта при синусоидальном воздействии на базе АСР с контроллером ПЛК: Лабораторная работа №12 / В.Ф. Кузицин, Г.В. Фарафонов. — М: Издательство МЭИ, 2017. — 16 с.
2. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. С. 369.

*И.А. Катохин, Д.Р. Гранкина, Д.Р. Графов, Н.А. Венидиктов, студ.;
рук. Г.В. Фарафонов, ст. преп. (НИУ МЭИ)*

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ БАЗ ДАННЫХ

В системах автоматизированного управления используется огромное количество данных в зависимости от масштаба и сложности оборудования. Для повышения эффективности задач хранения и использования такого количества данных, скорости доступа к ним, возможности анализа, сортировки и фильтрации, а также для оценки эффективности работы систем управления по архивным данным, целесообразно внедрение технологий работы с Big Data. Выбор по созданию больших баз данных на сегодняшний день лежит между традиционными реляционными (SQL) базами данных и нереляционными (NoSQL) системами [1]. Реляционные базы данных хорошо работают с управлением сложными зависимостями между данными. Базы данных NoSQL, лучше подходят для хранения неструктурированных данных. Они лучше справляются с более крупными объемами данных и обеспечивают более высокую скорость обработки такого объема, в то время, как использование реляционных баз данных для такого задач является слишком затратным. К тому же, нереляционные базы обеспечивают структуру данных, которая лучше подходит для работы с внешними приложениями, упростив тем самым доступ внешнего приложения к данным, хранящимся в базе, и уменьшив размер программного кода, необходимого для этой цели [2].

Авторами выполнен обзор существующих методов построения больших баз данных для объектов промышленной теплоэнергетики, а также рассмотрены основные принципы анализа большого количества данных.

Литература

1. **Эрик Редмонд, Джим. Р. Уилсон** Семь баз данных за семь недель. Введение в современные базы данных и идеологию NoSQL. Под редакцией Жаклин Картер / Пер. с англ. Слинкин А.А. — М.: ДМК Пресс, 2013. — 384 с.
2. **Фаулер, Мартин, Садаладж, Прамодкумар Дж.** NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных.: Пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. — 192 с.

Д.Н. Темрина, студ.; рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О РАСЧЕТЕ НАСТРОЕК ДЛЯ ПИ И ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Для первичного определения настроек ПИ и ПИД регуляторов может быть выбран приближенный метод расчета по эмпирическим формулам, разработанный во ВТИ [1]. К его преимуществам относят: отсутствие необходимости аналитического описания объекта регулирования, простота использования, достаточно большая точность настройки ПИ-регулятора. Исходными данными являются: известная кривая разгона объекта; экспериментальные динамические характеристики объекта. Недостатки: в реальных условиях полученные экспериментально величины могут иметь большую погрешность, что требует дальнейшей подстройки регулятора.

Более точным является метод определения оптимальных параметров регулятора по результатам промышленного или численного эксперимента [2]. Его недостатком является необходимость выполнения эксперимента на действующем объекте путем итерационного метода поиска оптимальных параметров регулятора.

Определение коэффициентов регулятора может осуществляться с помощью использования расширенных комплексно-частотных характеристик или в случае невозможности их получения непосредственно из эксперимента применение расчета настройки регулятора по обычным частотным характеристикам [1]. Оба метода имеют схожий результат, в случае если затухание переходного процесса в системе определяется только двумя ближайшими к мнимой оси сопряженными комплексными корнями. Вышеупомянутые способы обеспечивают необходимое качество переходных процессов, возможность точной оценки запаса устойчивости системы, но требуют сложных математических расчетов.

Использование численных методов оптимизации имеет преимущества: получение оптимальных в зависимости от выбранного критерия минимизации коэффициентов управления; возможность применения сложных моделей объектов; быстрое достижение конечного результата. Недостатками являются: сложность вычислительных процессов; их расхождение; высокая вероятность нахождения неэффективных параметров в результате сложности реализации. Данные проблемы требуют дальнейшего развития и усовершенствования программно-технических средств.

Литература

1. **Стефани Е.П.** Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. — М.: Энергоатомиздат, 1972.
2. **Андрюшин А.В., Сабанин В.Р., Смирнов Н.И.** Управление и инноватика в теплоэнергетике: учебное пособие / М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 392 с.

*А.Н. Федосов, М.Г. Тришкин, В.Р. Можаров, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА КОЭФФИЦИЕНТОВ АЛГОРИТМА НЕЛДЕРА-МИДА НА МОДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ УПРАВЛЕНИЯ

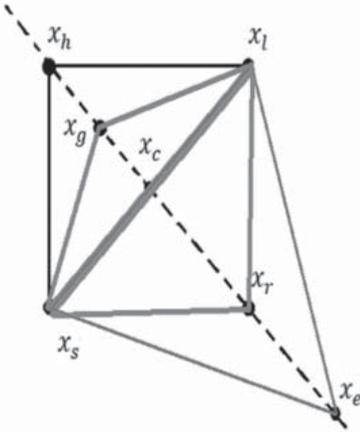


Рис. 1. Граф для алгоритма метода Нелдера-Мида — этапы «Сжатия», «Растяжения» и «Отражения»

на модельных объектах управления, был рассмотрен элементарный объект в виде последовательного соединения двух апериодических звеньев и одного звена запаздывания [2].

Результаты исследования показали, что тонкая настройка коэффициентов алгоритма Нелдера-Мида позволяет значительно улучшить сходимость в задачах параметрической оптимизации сложных объектов управления, включающих звенья запаздывания, а также были получены: графическое представление раскрытие симплекса вокруг стартовой точки по методу Нелдера-Мида. Таким образом, результаты исследования подтвердили значимость выбора параметров алгоритма для достижения быстрой и надёжной сходимости.

Литература

1. **Андрюшин А.В.** Управление и инноватика в теплоэнергетике: учебное пособие для вузов по направлению «Теплоэнергетика» / А.В. Андрюшин, В.Р. Сабанин, Н.И. Смирнов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 392 с.
2. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МЭИ, 2004. — 400 с.

*Д.Г. Плотников, М.Н. Михалев, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ СЕКЦИИ ТС ОДУ

В современном мире вопросы безопасности и надежности приобретают все большее значение, требуя особого внимания. На всех этапах производства на заводах-изготовителях проводятся контрольные испытания, а для контроля качества продукции собираются комиссии. Эти мероприятия известны как приемо-сдаточные испытания.

Приемо-сдаточные испытания (ПСИ) представляют собой комплекс мероприятий, направленных на проверку соответствия продукции установленным требованиям и стандартам [1].

Программно-технические средства оперативно диспетчерского управления (ТС ОДУ) представляют собой программно-аппаратный комплекс средств автоматизации, который является базовой платформой для контроля и управления.

В настоящей работе анализируются особенности проведения приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) секций (ТС ОДУ), а также нормативные требования, которые необходимо соблюдать при проведении этих мероприятий. В рамках работы был проанализирован личный опыт участника комиссии, который проводил и утверждал результаты приемо-сдаточных испытаний (ПСИ).

Результаты показали, что правильно проведенные приемо-сдаточные испытания (ПСИ) являются залогом безопасности новых установок. Эти испытания обеспечивают эффективность и безопасность нового оборудования, что особенно важно для предотвращения несчастных случаев и техногенных аварий.

Литература

1. **ГОСТ Р 15.301-2016** «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство».

*С.А. Шишкина, С.А. Ситников, Д.Г. Никитин, В.Н. Ляхов, студ.;
рук. Г.В. Фарафонов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БАЗЫ ДАННЫХ

В настоящее время информационные технологии достигают огромных масштабов, для анализа и обработки информации записываются гигабайты данных. Вместе с количеством данных растут и объёмы баз данных, из-за чего найти что-то нужно (например, результаты измерений за определённый временной промежуток) становится гораздо сложнее. В подобных ситуациях поиск вручную может затянуться надолго, поэтому и применяются поисковые системы. Но чтобы создать такую систему, необходимо понимать ее принципы работы. Целью данного проекта является анализ базовых функций поисковой системы для работы с крупной базой данных. В основном метод поиска у подобных систем либо прямой, либо с помощью инвертированного файла [2]. Но во всех случаях вначале проводится процесс подбора информации, который можно разделить на сканирование, индексацию и ранжирование. Для улучшения качества работы применяются различные алгоритмы и математические модели. Например, для проверки отдельных слов запроса на грамотность можно применить коэффициент Джаро-Винклера, а наличие всего запроса в файлах базы данных уточнять через I-Match сигнатуру [1]. Все эти математические модели можно реализовывать на многих языках программирования, как с помощью стандартных текстовых, так и с помощью технологий СУБД.

Авторами данной работы рассматриваются основные приёмы, математические модели, элементы кода, являющиеся основой для реализации поисковой системы.

Литература

1. **Мохов А.С.** Анализ и обработка текстовых данных: практикум по курсу «Интеллектуальные информационные системы» для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 27.04.04 «Управление в технических системах» / А.С. Мохов, В.О. Толчеев, А.А. Бородкин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «МЭИ». — Москва: Изд-во МЭИ, 2020. — 51 с.
2. Как работают поисковые системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/464375/> (дата обращения: 15.11.2024).

*В.Ю. Стрелков, аспирант;
Э.К. Аракелян, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРА НА ЭНЕРГБЛОКАХ АЭС ТИПА ВВЭР-1000 С ПЕРЕГРЕВОМ ПАРА

При эксплуатации АЭС применяют статические программы регулирования энергоблоков с ВВЭР-1000. В данной работе исследуются программы регулирования мощности энергоблока с постоянным и со скользящим давлением во втором контуре.

С появлением блочной компоновки теплосиловой установки пуск турбины стали производить одновременно с реактором, т.е. на скользящих параметрах пара, причем не только повышение частоты вращения и включение генератора в сеть, но и повышение нагрузки турбины вплоть до полной осуществляется при постепенно нарастающих давлении и температуре свежего пара, при полностью открытых регулирующих клапанах.

При регулировании же мощности реактором, когда регулирующие клапаны турбины полностью открыты и давление пара снижается пропорционально расходу пара, длительная работа при пониженном давлении повышает надежность и долговечность поверхностей нагрева реактора и паропроводов, идущих к турбине. При этом для сохранения температуры свежего пара на уровне температуры насыщения при номинальном давлении предлагается перегревать пар на выходе из парогенератора в дополнительном пароводяном подогревателе за счет освобожденного в реакторе тепла при его разгрузении.

Кроме того, поскольку давление пара перед турбиной меняется плавно, а температура пара поддерживается постоянной, то при полностью открытых регулирующих клапанах температура большинства ответственных элементов турбины сохраняется неизменной. Благодаря этому при изменении нагрузки отсутствует неравномерность температурных полей в поперечных сечениях корпуса турбины, вызывающая термические напряжения, специфические для частичной нагрузки турбин с сопловым парораспределением; не появляются относительные тепловые расширения или укорочения ротора; снижаются напряжения изгиба, особенно динамические, в лопатках первой ступени. Перечисленные обстоятельства заметно повышают экономичность и улучшают надежность и маневренность турбины.

Литература

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов по специальности «Тепловые электрические станции» / Ред. А.Г. Костюк, В.В. Фролов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МЭИ, 2001. — 488 с.

*М.Г. Тришкин, А.Н. Федосов, В.Р. Можаров, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛК200 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ



Рис. 1. ПЛК200

Одним из ключевых преимуществ использования ПЛК для моделирования является возможность работы с инерционностью каналов управления. Особое внимание уделяется также анализу нелинейностей, которые часто встречаются в реальных объектах управления.

Результаты показали, что моделирование на основе ПЛК200 не только значительно упростило процесс настройки, но и существенно повысило точность и устойчивость системы управления, что, в свою очередь, повышает эффективность и надежность производственных процессов.

Литература

1. **Хоанг В.В., Кузищин В.Ф., Мерзликина Е.И.** Применение алгоритма автоматической настройки для АСРС ПИД-регулятором и предиктором Смита при наличии помех // Математические методы в технике и технологиях ММТТ — 28: сб. тр. XXVIII междунар. науч. конф. — Т. 8. — Саратов, 2015. — С. 197–200.
2. **Хоанг В.В., Кузищин В.Ф., Мерзликина Е.И.** // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. — 2016. — № 27. — С. 121–128. — EDN WFRYSD.

*В.Р. Можаров, М.Г. Тришкин, А.Н. Федосов, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ДВУСВЯЗНЫХ АСР НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЕАЭРАТОРОМ

Настройка двусвязной системы автоматического регулирования (АСР) с применением методов классической теории автоматического управления (ТАУ) может представлять значительные трудности в реальных условиях. Основные проблемы классической ТАУ заключаются в ее трудоемкости и необходимости многократных итераций для достижения приемлемого качества регулирования. Классическая ТАУ зачастую сосредотачивается на улучшении каждого канала управления по отдельности, что может приводить к конфликтным требованиям. Настройки, которые оптимальны для одного канала, могут негативно сказаться на других, и потому поиск баланса требует значительных временных затрат и усилий.

Напротив, численные методы оптимизации предлагают более современный и гибкий подход, позволяющий сократить время настройки. В данной работе продемонстрирована настройка двусвязной АСР деаэратора с помощью моделирования системы, формирования целевой функции, учитывающей одновременно интегральные критерии по всем каналам, и последующей оптимизации параметров регуляторов с помощью модифицированного генетического алгоритма. Этот метод позволил интегрировать ограничения и целевые функции, формализуя процесс настройки системы как задачу оптимизации.

Таким образом, численные методы не только сокращают время настройки, но и предоставляют более высокую адаптивность к изменениям динамических характеристик управляемого объекта. Они способны обеспечить более точное соответствие системы заранее установленным критериям качества, зачастую сводя к минимуму сложность поисковых процессов, которым подвержена классическая ТАУ.

Литература

1. **Клименюк И.В., Кузин В.С.** Проектирование теплообменных аппаратов. Ч. 2. Деаэраторы: практикум по дисциплине «Вспомогательное оборудование морской техники»; [Электронный ресурс] / Инженерная школа ДВФУ. — Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2015. — 30 с.
2. **Бесекерский, В.А.** Теория систем автоматического управления: линейные системы. Нелинейные системы. Импульс. системы. Цифровые и адаптив. системы. Критерии устойчивости. Случайные процессы / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов; В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. — 4-е изд., перераб. и доп.. — СПб.: Профессия, 2004. — 747 с.
3. **Ротач, В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов / В.Я. Ротач. — 5-е изд. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2008. — 394 с.

*М.Н. Михалев, Д.Г. Плотников, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ВЫПОЛНЕНИЯ ШЕФМОНАТЖНЫХ И ШЕФНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА СВБУ Э/Б 1 АЭС РУППУР В НРБ

В настоящее время в Народной Республике Бангладеш ведётся строительство двух энергоблоков, суммарной установленной мощностью 2400 МВт (2×1200 МВт), тип реактора: ВВЭР-1200 (поколение безопасности «3+»).

Система верхнего блочного уровня (СВБУ) предназначена для контроля технологического процесса и состояния оборудования энергоблока №1 АЭС Руппур во всех предусмотренных проектом режимах его эксплуатации и является основным средством представления информации персоналу АЭС Руппур.

Режим работы СВБУ круглосуточный, непрерывный во всех предусмотренных проектом режимах работы энергоблока, включая режим нормальной эксплуатации, плановые пуски и остановки энергоблока.

СВБУ включает следующие компоненты:

- средства обработки все поступающей в СВБУ информации (серверы);
- дисплейные рабочие станции — средства информационного обеспечения и информационной поддержки;
- Локальную вычислительную сеть (ЛВС СВБУ) для обмена информацией между компонентами СВБУ и внешними подсистемами;
- устройство синхронизации времени, печати и передачи данных [1];

В настоящей работе анализируются особенности проведения шефмонтажных и шефналадочных работ на СВБУ, а также нормативные требования, которые необходимо соблюдать при проведении этих мероприятий. В рамках работы был проанализирован личный опыт участника комиссии, который проводил данные виды работ, находясь непосредственно на строительной площадке АЭС Руппур.

Результаты работы показали, что при соблюдении инструкций и нормативных документов выполнение работ будет соответствовать нормам качества и требованиям безопасности. Данный вид работ обеспечивает эффективность и безопасность СВБУ, что особенно важно для предотвращения несчастных случаев и техногенных аварий.

Литература

1. **Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Полетькин А.Г., Промыслов В.Г.** СВБУ — комплексное решение задач верхнего уровня АСУ ТП. — С.11–14.

*И.М. Молотов, асп.; П.В. Ушаков, А.А. Опросичев, студенты;
рук. О.М. Проталинский, д.т.н., проф.*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ И ЕГО УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В рамках работ по имитационному моделированию автономного энергоснабжения на основе солнечно-ветровой генерации с использованием водородного накопителя энергии и разработки системы управления сезонным аккумулярованием энергии путем распределения внутренних энергоресурсов рассматриваемой системы энергоснабжения, в докладе представлено решение следующих задач:

- 1) разработка имитационных численных моделей элементов и агрегатов автономной энергосистемы, которая включает первичную солнечно-ветровую генерацию, электролизную установку, водородную систему хранения энергии, водородно-воздушный топливный элемент, газовую микротурбину с использованием водорода в качестве топлива;
- 2) разработка имитационных моделей управляющей системы контроля зарядом-разрядом аккумуляторной батареи, систем автоматического регулирования генерацией от топливного элемента и газовой микротурбины;
- 3) разработка управления сезонным аккумулярованием энергии в целях минимизации потерь энергии путем распределения энергоресурсов внутри автономной энергосистемы для типового односменного производственного графика нагрузки в условиях изменения природных факторов окружающей среды.

Имитационное моделирование реализовано с использованием отечественной платформы Simintech, предназначенной для разработки математических моделей, алгоритмов управления и пользовательских интерфейсов.

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 аккумулярованием энергии // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 169–181. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-169-181.
2. **Соколов В.П., Молотов И.М., Пыткина Е.А., Опросичев А.А., Ушаков П.В.** Разработка цифровой модели газовой микротурбины Capstone C30 // Новое в российской электроэнергетике. — 2024. — №. 9. — С. 16–24.

М.Д. Фомичев, асп.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА НА НЕОДНОРОДНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В БАШЕННЫХ ГРАДИРНЯХ

Погодные условия играют важную роль в функционировании градирен, при этом особенно значимыми факторами являются скорость и направление ветра. Эти параметры существенно влияют на однородность воздушного потока, проходящего через градирню, и на эффективность охлаждения циркуляционной воды. Нестабильные ветровые условия могут вызвать неравномерное распределение воздушного потока, что, в свою очередь, снижает эффективность теплообмена и общие показатели энергетических установок. Основной целью исследования является моделирование полей скоростей воздуха внутри градирни при различных ветровых нагрузках. Для этого применяется специализированное программное обеспечение, такое как ANSYS Fluent [1], с помощью которого проводится численное моделирование скоростных полей при различных скоростях ветра и определяется распределение воздушных потоков по поперечному сечению градирни [2–3]. В процессе построения модели градирни используется сетка с элементами размером 4 м и модель турбулентности $k-\epsilon$. Скорость и направление ветра моделируются путем задания соответствующих граничных условий в пакете ANSYS Fluent. В ходе расчетов сначала определяется поле скоростей воздушных потоков, на основе которого визуализируются области с различными скоростями движения воздуха, а также устанавливаются распределения воздушного потока и массовые расходы в поперечном сечении градирни при различных скоростях ветра. Представленный подход позволяет оценить влияние ветра на эффективность охлаждения воды и предложить рекомендации по управлению потоками воздуха при различных скоростях ветра.

Литература

1. FLUENT Incorporated, FLUENT Users Guide Release 12, Lebanon, New Hampshire, USA, 2009.
2. **Majumdar A., Singhal A., Reilly H., Bartz J.**, Numerical modelling of wet cooling towers — Part 2: application to natural and mechanical draft towers, *Journal of Heat Transfer* 105 (1983) 736–743.
3. **Majumdar A., Singhal A., Spalding D.** Numerical modelling of wet cooling towers — Part 1: mathematical and physical models, *Journal of Heat Transfer* 105 (1983) 728–735.

А.И. Соловьев, студ.; рук. В.М. Парчевский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ АЭС С ВВЭР КАК ФУНКЦИИ НАГРУЗКИ И УРОВНЯ

Управление парогенератором АЭС с реактором ВВЭР требует тщательного контроля уровня воды, так как это главный регулируемый параметр. С увеличением нагрузки допустимый диапазон изменения уровня становится меньше, и наоборот. Оптимальный уровень воды определяется балансом между экономическими и безопасными соображениями. Для достижения экономической эффективности уровень воды следует поддерживать на более низком уровне, чтобы максимизировать высоту парового пространства, минимизировать влажность пара и увеличить КПД турбины. С точки зрения безопасности, уровень воды необходимо держать выше для обеспечения запаса охлаждающей жидкости в случае аварии. Для моделирования и расчета уровня, учитывающего безопасность, требуется двумерная математическая модель, связывающая объем воды с нагрузкой и уровнем. Определение объема воды в смеси пар-вода зависит от знания объемного паросодержания [1]:

$$\phi = w/(w + a), \quad (1)$$

где w — скорость выхода пара, м/с, a — относительная скорость паровой фазы в барботажном слое; $a = 0,65 - 0,0398p$, где p — давление в МПа. Скорость выхода пара является функцией двух переменных $w(i, d)$, где i — условное безразмерное расстояние от горячего до холодного коллектора по средней по длине теплообменной трубке, а d — относительная нагрузка ПГ в долях от номинальной. На рисунке представлена зависимость объема воды в ПГ от уровня при различных нагрузках.

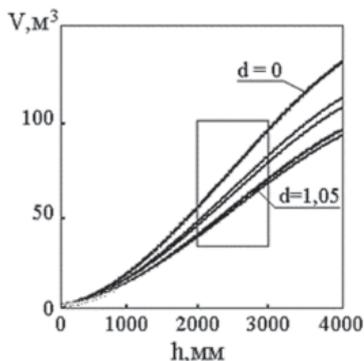


Рис. 1. Зависимость объема воды в ПГ от уровня при различных нагрузках

Литература

1. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. М.: Энергоатомиздат, 2001. 316 с.

*А.В. Табульдина, студ.;
рук. А.А. Косой, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПО ЦИКЛУ ОИВТ РАН, С УЛАВЛИВАНИЕМ CO₂

В последние годы на мировом уровне наблюдается возрастающий интерес к вопросам экологии и глобального потепления. Существенная часть дискуссий связана с потенциальными рисками катастрофических последствий, вызванных выбросами парниковых газов, включая углекислый газ (CO₂).

В данной работе рассматривается концептуальная схема парогазовой установки с полным улавливанием диоксида углерода из продуктов сгорания [1]. В отличие от улавливания CO₂ из продуктов сгорания в традиционных схемах электростанций, предлагаемая концепция базируется на новых энергетических технологиях, в которых система утилизации CO₂ встраивается в структуру цикла уже на начальной стадии проектирования и оптимизации параметров электростанции. В статье на примере технологической схемы электростанции, работающей на природном газе, сжигаемом в кислороде, и производящей электрическую и тепловую энергию были приведены интегральные показатели тепловой экономичности такой электростанции и выполнено их сравнение с аналогичными показателями действующих и проектируемых установок, функционирующих с системами улавливания CO₂ и выбросом диоксида углерода в атмосферу. Было показано, что термодинамическая эффективность предлагаемого цикла и его конкурентоспособность высоки относительно таких же показателей альтернативных систем совместного производства электрической и тепловой энергии.

Была разработана автоматическая система регулирования (АСР) для контроля и управления установкой, работающей по циклу ОИВТ РАН. Эта система обеспечивает мониторинг ключевых показателей работы установки, автоматизацию процессов и оптимизацию технических операций.

Литература

1. **Косой А.С., Зейгарник Ю.А., Попель О.С., Синкевич М.В., Филиппов С.П., Штеренберг В.Я.** Концептуальная схема парогазовой установки с полным улавливанием диоксида углерода из продуктов сгорания // Теплоэнергетика, 2018, № 9, с. 23–32.

Ю.А. Конаков, студ.; рук. А.А. Косой, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА И НАСТРОЙКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В настоящее время теоретические достижения мировых ученых в области архитектуры современных регуляторов, методов их настройки, обеспечения устойчивости и заданных показателей качества процессов регулирования значительно опережают отечественные разработки. В то же время отечественные исследования в области теории автоматического управления (ТАУ) и систем автоматического управления (САУ) остаются на уровне 80-х годов XX века, что обусловлено ограничениями вычислительных мощностей ЭВМ и экономической нецелесообразностью усложнения систем управления из-за высокой стоимости контроллеров. В период с 2006 по 2014 годы российский опыт в области автоматизации обогатился новыми технологиями, однако большинство исследований сводилось к адаптации устаревших алгоритмов для новых технологических узлов или совместному с иностранными партнерами переносу западных технологий.

Разработка отечественного тренажера для автоматизированных систем представляет собой актуальную задачу в условиях необходимости сокращения зависимости от иностранных технологий и обеспечения внутреннего научно-технического прогресса. В России наблюдается дефицит тренажеров, способных охватывать все аспекты синтеза, настройки и обслуживания современных автоматизированных систем. Импортные решения зачастую не учитывают специфические требования и задачи, стоящие перед российской промышленностью и образовательной системой [1]. Зависимость от зарубежных технологий в области автоматизации создает риски для безопасности и устойчивости всей энергосистемы. Создание собственных разработок позволит снизить эти риски и способствовать росту независимости страны в ключевых технологических областях.

Был разработан первый образец тренажера позволяющий автоматизировать процесс синтеза и настройки АСР, проведены первые испытания.

Литература

1. Аракелян Э.К., Андрушин А.В., Мезин С.В., Косой А.А., Ягупова Ю.Ю., Юпатов Д.А., Пашенко Ф.Ф. Проблемы учета фактора надежности при выборе состава генерирующего оборудования ТЭЦ на оптовом рынке электроэнергии и пути их решения // Автоматика и телемеханика. — 2022. — № 5. — С. 148–163.

*М.Н. Михалев, Ю.И. Хими́на, студенты;
рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕВОДА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С РУССКОГО ЯЗЫКА НА АНГЛИЙСКИЙ ДЛЯ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ПРОЕКТОВ АЭС

В настоящее время идёт строительство АЭС Аккую (Турция), АЭС Руппур (НРБ) — для каждого проекта необходима разработка документации на русском языке и последующий её перевод на английский язык. В дальнейшей работе выстраивается следующая цепочка: инженер — переводчик — инженер. Несмотря на то, что в атомной сфере используются терминологические единицы, имеющие закреплённый вариант перевода, в лексиконе работников атомной сферы преобладает сленг.

Перевод сленговых единиц в области атомной энергетики представляет собой сложную задачу как для инженеров, так и для переводчиков. Ниже представлены основные трудности, с которыми сталкиваются инженеры и переводчики:

- инженеры — техническая специфика, неоднозначность, общение с разными специалистами, культурные различия;
- переводчики — специфика терминологии, отсутствие аналогов, контекстуальная зависимость, эволюция языка, коммуникация с целевой аудиторией.

В современном мире стремление к соблюдению лексической точности — неизбежный атрибут документов всех международных организаций, само существование которых возможно только при условии соблюдения общего консенсуса их учредителей [1].

В настоящей работе анализируются особенности перевода технической документации. В рамках работы был проанализирован личный опыт участника комиссии, который выполнял работы на АЭС в качестве инженера и переводчика, который занимался переводом документации.

Итак, взаимодействие между инженерами и переводчиками в области атомной энергетики требует высокой степени профессионализма и взаимопонимания. Оба специалиста должны обеспечить точность и эффективность коммуникации в этой критически важной сфере.

Литература

1. **Баянкина Е.Г.** Профессиональный жаргон в атомной сфере / Е.Г. Баянкина, С.В. Пегов // Научно-методический журнал «На пересечении языков и культур». Актуальные вопросы гуманитарного знания. — Киров, 2016. — № 1. — С. 23–29.

*П.Н. Лозбичева, Д.Д. Побарзин, студ.;
рук. Е.И. Мерзликина, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАХ ТЭС

Из-за сильного антропогенного воздействия на природу законодательство в области защиты окружающей среды становится все жестче [1]. В этой статье описано приложение на языке C# [2] на базе платформы .Net [3] для расчета эффективности золоулавливания электростатических фильтров (ЭФ) ТЭС, его структура и характеристики; описываются ЭФ и проблемы, связанные с ними.

Разработанное приложение позволяет упростить подбор ЭФ для проектируемых блоков угольных ТЭС, сравнить эффективность различных ЭФ в заданных условиях, отследить влияние вида используемых углей на степень очистки дымовых газов имеющимся ЭФ. Это позволит подобрать мероприятия по модернизации существующего ЭФ без полной его замены.

Эффективность ЭФ определяется проскоком золы через него и степенью улавливания золы; расчет идет по следующим формулам [4]:

$$p = (1 - \varphi_n - \varphi_{II}) \cdot p_a + \varphi_n \cdot \beta \cdot p_a + \varphi_n \quad (1)$$

где: p — проскок золы через ЭФ с учетом протечек газов через неактивные и полуактивные зоны; φ_n — доля потока, проходящего через неактивные зоны ЭФ; φ_{II} — доля потока, проходящего через полуактивные зоны ЭФ; p_a — проскок золы через ЭФ с учетом неравномерности поля скоростей; φ_n — доля потока, проходящего через неактивные зоны ЭФ; β — коэффициент, учитывающий увеличение проскока золы в ослабленном электрическом поле.

$$\eta_{zy} = 1 - p \quad (2)$$

где: η_{zy} — степень улавливания золы в ЭФ; p — проскок золы через ЭФ с учетом протечек газов через неактивные и полуактивные зоны ЭФ.

ЭФ должен обеспечивать η_{zy} не менее 99,8%, при значении меньше указанного работу ЭФ считают неэффективной.

Литература

1. **Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ** “Об охране атмосферного воздуха”.
2. **Марк Дж. Прайс.** C# 8.0 и .Net Core 3.0. — СПб. — Питер. — 2021. — 816 с.
3. **Net Platform** // URL: <https://github.com/dotnet> (accessed data 1.06.2024).
4. **Прохоров В.Б., Киричков В.С.** Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу, выбор параметров электрофильтров и определение высоты дымовых труб — Москва. — Издательство МЭИ. — 2019.

В.П. Беляев, студент; рук. А.А. Косой, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛАССИЧЕСКИХ И НИУИНСУСНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В современных системах автоматического регулирования использование двух исполнительных органов разной пропускной способности позволяет разделить комплексную задачу управления между двумя параллельными ветками. Основной ИО большой мощности отвечает за отработку переключений между режимами, за следованием диспетчерскому графику и помогает обрабатывать сильные внешние возмущения. Дополнительный ИО на байпасе отвечает за точность работы САР, повышая качество работы всей системы.

Нониусная система регулирования эффективно продлевает ресурс основного ИО за счет использования двухуровневой структуры. В этой системе мелкие возмущения обрабатываются меньшим и более экономичным ИО. Вторичный ИМ, имея преимущество в скорости и маневренности, справляется с частыми и незначительными изменениями. Первичный ИМ активируется только при значительных изменениях в параметрах системы, что минимизирует его эксплуатационный износ и повышает долговечность. Такой подход позволяет экономично и эффективно поддерживать стабильность и точность системы при одновременном уменьшении затрат на обслуживание. Настройка регуляторов нониусных САР представляет собой сложную задачу ввиду общей нелинейности систем подобного вида [1].

В работе представлен метод настройки подобных регуляторов и приведён сравнительный анализ работы систем, с учётом фактора экономичности использования ресурсов исполнительных органов. Настройка параметров регуляторов как для классической САР, так и для нониусной САР проведена численными методами [2]. Численные методы оптимизации систем управления в реальной жизни упираются в неполноту знаний об объекте управления, но в данном случае исследование опирается на характеристики исполнительных органов, которые задокументированы производителем и легко актуализируются на этапе пусконаладочных работ.

Литература

1. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов / под ред. В.Я. Ротача. 5-е изд. М.: Изд-во МЭИ, 2008. — 394 с.
2. **Андрюшин А.В., Сабанин В.Р., Смирнов Н.И.** Управление и инноватика в теплоэнергетике / под ред. А.В. Андрюшина. М.: Изд-во МЭИ, 2011. — 392 с.

И.К. Шрамко, студ.; рук. В.В. Охотин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ АСУ ТП ЭНЕРГОБЛОКА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1200

Целью данной работы была разработка и реализация программы для обеспечения автоматизированной оценки знаний персоналом АЭС систем контроля и управления реакторной установки в составе АСУ ТП энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1200.

Анализ литературы, затрагивающей вопросы назначения, функции системы и критерии их выполнения; средства, системы контроля и управления реакторной установки, основные регуляторы реакторной установки [1–4], позволил составить по указанным системам объемный банк вопросов для проведения контроля знаний.

Программная реализация системы автоматизированного контроля и оценки знаний воплощена в формате загружаемого с информационного носителя приложения, написанного на языке программирования Python с использованием библиотек Tkinter, Messagebox, Tk и Json. Приложение не требует доступа к интернету, что позволяет использовать его непосредственно на станции. В качестве целевой платформы был выбран ПК под управлением ОС Windows 7 и более поздними версиями. Для достижения стабильности работы и минимизации системных требований, интерфейс был предельно упрощен.

Пользователь получает 10 случайных вопросов из общего банка. Продолжительность тестирования ограничена, как и число ошибок. Если тестируемый укладывается в норматив, то получает оценку знаний «Допуск». В противном случае — «Не допуск».

Для более углубленной аналитики, возможно подключение дополнительных функций, таких как составление сводной таблицы уникальных пользователей с их статистикой.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001-15, утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Ростехнадзора от 17.12.2015 № 522.
2. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций НП-026-16, утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Ростехнадзора от 16.11.2016 № 483.
3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций НП-031-01, утв. постановлением Госатомнадзора России от 19.10.2001 № 9.
4. АЭС-2006.Нововоронежская АЭС-2. Установка реакторная В-392М. Алгоритмы работы основных регуляторов. 2006., ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2009.

*А.А. Севостьянов, студ.;
рук. Д.Ю. Рязанов, ст. преп. каф. АСУТП (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В современном мире информационные технологии (ИТ) играют важную роль в развитии различных отраслей, включая энергетику. Одно из перспективных направлений ИТ — использование цифровых двойников (ЦД), виртуальных моделей реальных объектов и систем. Они позволяют проводить эксперименты и анализировать различные, в т.ч. аварийные режимы работы без риска для людей и оборудования.

Развитие, внедрение и использование ЦД обусловлено требованиями повышения эффективности работы энергетических объектов топливо-энергетического комплекса, снижения затрат на их эксплуатацию, обеспечения безопасности и безотказности работы оборудования.

Анализ существующих методов управления и применяемых САПР показывает необходимость комплексного подхода к применению, развитию и использованию технологии ЦД в энергетике [1, 2].

В докладе подробно рассматриваются перспективы, проблемы и возможности применения цифровых двойников в энергетической отрасли. Такие технологии открывают новые средства для обучения персонала с помощью систем дополненной реальности — AR (ДР) и систем виртуальной реальности — VR (ВР) [1]. Кроме того, их потенциал может значительно улучшить SCADA-системы [1, 2] и вывести технологии предиктивного управления [3] на новый уровень. Также в докладе описаны возможности оптимизации внедрения и усовершенствования цифровых двойников объектов топливно-энергетического комплекса на всем этапе жизненного цикла рассматриваемого объекта.

Литература

1. **Прохоров А., Лысачев М.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт М.: ООО АльянсПринт, 2020. — 401 с., ил. — ISBN 978-5-98094-008-9.
2. **Ковалевский С.В., Ковалевская Е.С.** Нейросети в управлении точностью обработки резанием: монография / Краматорск: ДГМА, 2009. — 136 с. — ISBN 978-966-379-373-3.
3. **Аракелян Э.К., Пикина Г.А.** Оптимизация и оптимальное управление — М.: Изд-во МЭИ, 2003. — 356 с. — ISBN 978-5-383-00253-7

Д.А. Смирнов, студ.;
рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В СРЕДЕ VBA EXCEL

Целью научной работы является создание на базе VBA Excel вычислительного программного продукта, позволяющего определять коэффициент теплоотдачи и тепловые потоки в условиях вынужденной конвекции.

В программе предусмотрены расчеты при: движении теплоносителя внутри труб и каналов произвольной формы; внешнем продольном обтекании пластины; внешнем поперечном обтекании труб; внешнем обтекании трубных пучков.

Пользователю необходимо задать условия однозначности, такие как форма тела и его размеры, температуры твердой поверхности и флюида, скорость течения и тип теплоносителя. В качестве теплоносителя предложены: воздух, вода при атмосферном давлении, жидкий аммиак, дымовые газы, трансформаторное масло и масла МК и МС-20. При желании пользователь может самостоятельно добавить таблицы свойств других теплоносителей.

Пользователю доступны для рассматриваемых тел следующие поправки: температурная, учитывающая изменение свойств флюида в пограничном слое; на гидродинамическую стабилизацию потока на начальном участке движения теплоносителя; на угол атаки набегающего потока; на сужение потока в самом узком сечении канала; на взаимное расположение труб в пучке.

В качестве примера использования программного обеспечения в научной работе было исследовано влияние определяющих параметров на коэффициент теплоотдачи при внешнем обтекании трубы. Были построены графики его зависимости от температурного перепада между твердой поверхностью и текучей средой, диаметра и скорости течения флюида.

Литература

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2014. — 360 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024662527/Т.Е. Созинова, Д.А. Смирнов. — Заявка № 2024660783/69. Дата поступления 15 мая 2024 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2024 г.

Г.П. Павлов, студент, Н.С. Долбикова, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ВТОРИЧНЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ НОВОГО ДОКУМЕНТА «МК 44-2023»



Рис. 1. Общий вид калибратора модели АКІП-73023

«МК 44-2023» — это новая методика калибровки измерителей-регуляторов технологических (вторичных показывающих приборов), разработанная ПАО «Газпром» и выпущенная для ТЭЦ в сентябре 2023 года.

Данная методика калибровки применяется к технологическим измерителям-регуляторам (вторичным показывающим приборам), предназначенным для измерения, регистрации и контроля температуры, а также неэлектрических величин, таких как давление (вакуум), расход и уровень. Эти параметры преобразуются в электрические сигналы силы тока и напряжения постоянного тока или активного сопротивления. В этой работе будет представлен пример применения методики для калибровки вторичного прибора регистратора технологического КС-2Е.

На основе данной работы в будущем будет разработана лабораторная работа для студентов ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Литература

1. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы.
2. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы.
3. Долбикова Н.С. Мерзликина Е.И. Метрология и теплотехнические измерения.

*О.Д. Афанасьева, студ.;
рук. А.В. Андриюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РОССИЙСКИХ ПЛК, СРЕД ПРОГРАММИРОВАНИЯ И SCADA, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В связи с текущей внешнеполитической и экономической ситуацией особо актуальным стал вопрос обеспечения технологической независимости и технической безопасности российской энергетики и промышленности, обеспечения информационной безопасности объектов критической инфраструктуры [1, 2], перехода на отечественные технологии, в частности, развитие программируемых логических контроллеров (ПЛК), сред программирования, систем диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA).

В рамках данной работы был проведён сравнительный анализ:

- российских ПЛК: по энергоэффективности, возможности резервирования, поддерживаемым протоколам и интерфейсам, скорости передачи, средней наработке на отказ, наличию модулей реального времени, возможности расширения;
- российских сред программирования для ПЛК: по возможности моделирования и отладки проекта без подключения к оборудованию, наличию готовых шаблонов, поддержке различных языков программирования и т.д.;
- российских SCADA: по архитектуре, поддерживаемым базам данных, работе с OPC серверами, наличию встроенного OPC сервера, количеству тегов, возможности резервирования, наличию библиотеки шаблонов визуализации устройств и т.д.

В результате сравнительного анализа были сформированы рекомендации по выбору наиболее подходящих решений для обеспечения технологической независимости и повышения уровня технической и информационной безопасности в условиях текущей внешнеполитической и экономической ситуации.

Литература

1. **Указ Президента РФ от 30.03.2022 № 166** «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. **Приказ Госкорпорации «Росатом» от 22.02.2023 № 1/308-П** «Об организации пилотного проекта по технологической независимости и отраслевому регулированию объектов критической информационной инфраструктуры и АСУ ТП в атомной отрасли».

*Э.Е. Бальбурова, студент, В.В. Кузовкова, студент;
Е.И. Мерзликина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСР ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ВОЗМУЩЕНИЙ

Целью данной работы является моделирование АСР тепловой нагрузки котла, работающего на смеси топлив, при действии случайных возмущений по расходу доменного газа. Выполнено имитационное моделирование системы во временной области в среде разработки математических моделей SimInTech [1], позволяющей моделировать технологические процессы, протекающие в различных отраслях. В качестве исходных данных использовалась информация из статьи [2]. Современные программные средства позволяют широко применять имитационное моделирование, сокращая тем самым объем натурных экспериментов и снижая расходы на научно-исследовательские работы.

Моделирование случайных сигналов произведено с помощью формирующих фильтров (ФФ), схемы которых показаны в статье [2] и сигнала типа нормально распределенный белый шум по методике, изложенной в [3].

На рисунке 1 дан фрагмент графика возмущающего воздействия по расходу доменного газа на входе объекта. Под действием этого возмущения на выходе объекта происходит случайное изменение регулируемой переменной. Также была выполнена оценка качества переходного процесса, в частности, оценка дисперсии регулируемой величины.

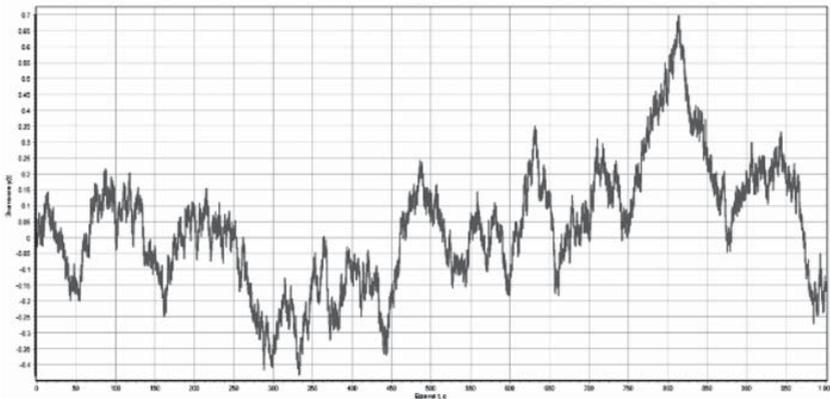


Рис. 1. Случайное возмущение

Литература

1. <https://simintech.ru/> — официальный сайт SimInTech
2. **С.К. Исмаходжаева, В.Ф. Кузицин.** Автоматизация и тепловой контроль в энергетике // Повышение эффективности АСР тепловой нагрузки паровых котлов при сжигании топлива нескольких видов, 2017.
3. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

Секция 51

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

К.С. Кравцова, студ.; А.Н. Макеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ЗА СЧЕТ ВОДОРОДНОЙ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

В связи с исчерпанием традиционных источников энергии в настоящее время активно развиваются возобновляемые источники энергии [1]. Одним из перспективных решений являются фотоэлектрические станции (ФЭС) [2]. Нестабильная выработка электроэнергии на ФЭС ограничивает их применение для нужд потребителей. Внедрение водородных систем резервирования позволит аккумулировать избыточную энергию и компенсировать ее нехватку в периоды слабой солнечной активности без вреда для окружающей среды [3].

В рамках данной работы предложен метод резервирования на основе производства и хранения водорода для последующей генерации в периоды недостатка солнечной радиации. Также автором сделана модель интеграции водородной системы в ФЭС, изучены технические стороны данного процесса и методики оценки эффективности этой установки.

Результаты применимы для проектирования и модернизации ФЭС, создания гибридных комплексов с водородными системами. Внедрение данного метода резервирования сгладит колебания в потреблении электрической энергии, снизит зависимость от погодных условий и повысит стабильность.

Литература

1. **Аннаев Х.Г., Гурбанов Н.Д., Нурлыев Д.Ю., Мухаммедов Б.Ч., Мырадов О.Г.** Экологическая значимость солнечной энергии и устойчивое развитие. 2024.
2. **Усков А.Е., Дайбова Л.А., Кравченко Н.А., Самойлов А.Н.** Фотоэлектрические станции: перспективы, достоинства, недостатки и особенности работы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2016. — № 124. — С. 450–460.
3. **International Energy Agency (IEA).** The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. (2019).

А.И. Коновалова, студ.;
 рук. М.Г. Зеодинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

ВЛИЯНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ИНТЕГРАЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ

Реализация метода нестационарной теплопроводности производилась лишь на математических моделях эксперимента с применением материалов с известными свойствами, в связи со сложностью создания необходимой экспериментальной установки, но появляется необходимость в изучении излучательной способности материалов с неизвестными свойствами.

По причине того, что линейная зависимость не была получена, так как интегральный коэффициент излучения сильно зависит от температуры. В связи с этим температурная кривая была разделена на несколько малых кусочно-линейных участков, что позволило рассчитать степень черноты для любой температуры.

Из анализа результатов проведенных исследований следует, что применение материалов с высокой электропроводностью является более эффективным и позволяет получить более точные результаты измерения. Это связано с большей способностью такого материала передавать тепло. Однако, в данном эксперименте не была учтена кондуктивная составляющая теплообмена, что привело к некоторому отклонению значений от теоретических.

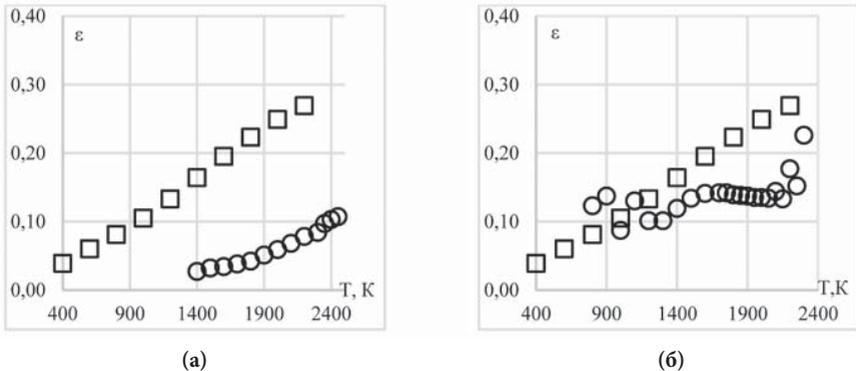


Рис. 1. Сравнение полученных результатов для вольфрамовой проволоки при использовании графита (а) и посеребренной латуни (б) в качестве токопроводящего материала с авторами

□ — значения интегральной степени черноты, полученные авторами [1] соответственно
 ○ — значения интегральной степени черноты, полученные в эксперименте

Литература

1. Шейндлин, А.Е. Излучательные свойства твердых материалов: справочник / Л.Н. Латыев, В.А. Петров, В.Я. Чеховской, Е.Н. Шестаков ; под общ. ред. А.Е. Шейндлина. — Москва: Энергия, 1974. — 472 с. — Текст: непосредственный.

*Д.О. Васкес, студ.;
рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ДРОС НА ВХОДЕ В ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В мощных паровых турбинах на входе в двухпоточный ЦНД целесообразно поместить двухпоточную радиально-осевую ступень (ДРОС), состоящую из радиального соплового аппарата и осевого рабочего колеса. Такая ступень была экспериментально исследована и показала большие преимущества по сравнению с традиционной осевой ступенью [1], но пока не была внедрена на практике.

В данной работе было проведено моделирование течения в ДРОС для ЦНД паровой турбины ПГУ К-500-240 в пакете ANSYS CFX и результаты расчетов сопоставлены с аналогичными расчетами традиционной осевой ступени. На рис. 1 показаны модели этих ступеней.

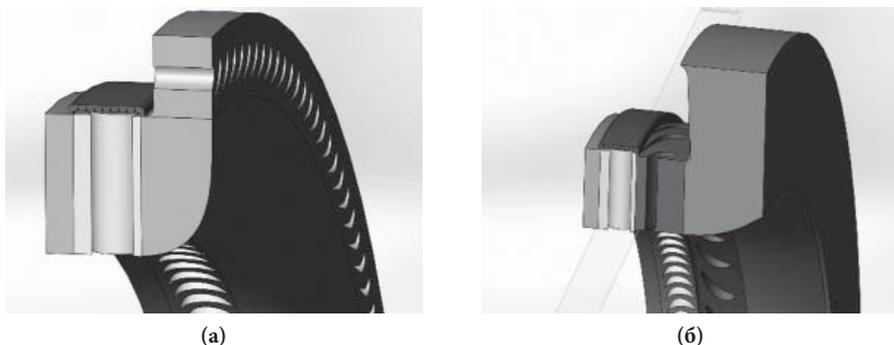


Рис. 1. Модели ступеней: (а) — ДРОС, (б) — осевая ступень

Результаты расчетов показали следующие преимущества ДРОС:

1. КПД ДРОС выше КПД осевой ступени на 3,5% за счет более совершенного преобразования энергии пара в радиально-осевой ступени, поскольку в центро-стремительной ступени значительная доля работы совершается за счет кориолисовых сил, а также снижением концевых потерь в сопловом аппарате (3,0%) и периферийной утечки (0,7%).
2. Уменьшается влияние нестационарности потока, связанное с поворотом потока на 90° на входе в ступень в непрофилированной камере.
3. Длина двухпоточного ЦНД за счет ДРОС уменьшится на 0,24 м.
4. Располагаемый теплоперепад ДРОС при этом составил 150,8 кДж/кг, а экономичность такой ступени достигает $\eta_{oi} = 87,5\%$ с учетом использования выходной скорости.

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.

Н.С. Начкебия, асп.;
рук. А.Б. Бирюков, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ НАСАДКИ МИКРОРЕГЕНЕРАТИВНОЙ ГОРЕЛКИ ПО ДАННЫМ РАСЧЕТА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

От оперативного реагирования на изменения состояния газогорелочного устройства может зависеть не только оптимальный режим работы и экономия топливно-энергетических ресурсов, но и безопасность, и стабильность работы производства.

Разработка цифрового двойника газогорелочного устройства позволит проводить анализ состояния горелки из данных температуры сред (дыма и воздуха) на входе и выходе из горелки.

Мною была разработана математическая модель для исследования теплотехнических свойств шариковых микрорегенеративных горелок. Она основана на элементарных тепловых балансах условно выделенных слоев теплоаккумулирующей засыпки насадки.

Работоспособность модели опробована на ПЭВМ, а полученные результаты сверены с результатами, приведенными в литературе [1]. Так же достоверность результатов подтверждена результатами расчетов по общепризнанным аналитическим методикам [2, 3]. Произведена апробация модели на лабораторной установке шариковой регенеративной насадки, на кафедре Технической теплофизики ДонНТУ.

Планируется создать инженерную методику для расчета регенеративных горелок, основанную на результатах исследований А.Б. Бирюкова [4].

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. Теория тепломассообмена: учебник для студентов машиностроительных специальностей технических университетов и вузов / Исаев С.И., Кожин И.А., Кофанов В.И. [и др.] ; ред. Леонтьев А.И. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 462 с.
3. Расчеты теплового режима твердых тел / Пехович А.И., Жидких В.М. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия, 1976. — 350 с.: ил. — Библиогр.: с. 347–349.
4. **Бирюков А.Б.** Методика определения основных параметров теплообменной насадки регенеративных горелок // Сталь — 2018. — № 11. — С. 72–75.

В.Г. Нестеров, студ.;
рук. А.В. Сенецкий, д.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Теплообменные аппараты являются неотъемлемой частью любого технологического процесса. Выбор теплообменников кожухотрубчатого типа основывается на проведении расчетных исследований по определению обеспечения тепловой нагрузки потребителя и температурного напора [1]. Все эти расчеты проводятся с учетом теплофизических характеристик ограничивающих поверхностей и теплоносителей, а также внесенных конструктивных изменений (улучшений) на стадии проектирования [2]. При этом не всегда является возможным учесть требования последующей технической эксплуатации теплообменников, которая вносит свои коррективы, а как следствие приводит к снижению эффективности переноса тепловой энергии [3].

В рамках данного исследования изучены эксплуатационные характеристики теплообменного аппарата типа «вода-вода», а именно влияние различных факторов на теплотехнические характеристики объекта. Проведен предварительный анализ по оценке возможной степени загрязненности теплообменника. На основании чего представлены методы борьбы с загрязнением трубного пучка и предложены возможные решения этой проблемы. Это позволит сохранить производительность теплообменника и поддерживать его рабочие характеристики.

Расчетные исследования проводятся на основе предварительно решенной задачи в одномерной постановке. Далее осуществляется построение трехмерной модели с последующей визуализацией распределения температурных полей, расходных характеристик и т.д. Это позволяет получить картину изменения рабочих параметров теплообменного аппарата в процессе эксплуатации и осуществить ее анализ для достижения номинальных (расчетных) характеристик теплообменника.

Литература

1. **Silaipillarputhur K.** The Design of Shell and Tube Heat Exchangers — A Review // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2019. Vol. 9, Issue 1.
2. **Гаряев А.Б., Валуева Е.П., Маскинская А.Ю., Прун О.Е.** Расчет кожухотрубных теплообменных аппаратов: уч. пособие. М.: Издательство МЭИ, 2019.
3. **Татаринцев В.А.** Повышение эффективности работы теплообменных аппаратов с внутритрубными отложениями // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2021. Т. 21. № 3.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛО-ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ PVT СИСТЕМ

Аннотация. Солнечная энергетика является одним из главных видов возобновляемой энергии, актуальной, в частности, не только на Земле, но и во всей солнечной системе. На сегодняшний день возможно получать электроэнергию и теплоэнергию от Солнца. Причем, это возможно реализовать через фотоэлектрическую панель (PV) и солнечный коллектор (STC, FPC) раздельно или одновременно — в едином устройстве на основе комбинированного солнечного коллектора (PVT). Цель работы — произвести обзор методов моделирования солнечных тепло-фотоэлектрических (PVT) систем, определить преимущества и недостатки методов на примере PVT системы с плоским солнечным коллектором.

Предмет исследований: тепло-фотоэлектрические (PVT) системы.

Методы моделирования. Математическое (аналитическое) моделирование использует фундаментальные уравнения (например, уравнения баланса энергии, теплопередачи и электрические уравнения) для представления системы. Математическое моделирование идеально подходит для простого или стационарного анализа и для получения представления об основных механизмах системы.

Численное моделирование использует вычислительные методы, такие как методы конечных разностей, конечных элементов или конечного объема, для решения подробных управляющих уравнений. Численное моделирование обычно используется для анализа переходных процессов и детального моделирования, включая неоднородные условия.

Результаты: при достижении поставленной цели были выявлены основные методы моделирования, выявлены их преимущества и недостатки, получены результаты моделирования на примере системы с плоским комбинированным солнечным коллектором.

Литература

1. Ali H A Al-Waeli, Hussein A. Kazem, Miqdam Tariq Chaichan, Kamaruzzaman Sopian Photovoltaic Thermal (PV/T) Systems Principles, Design, And Applications. Springer 2019.

А.А. Юрасов, студ.; рук. А.А. Сухих, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ТУРБИННОГО КОНТУРА АЭС ММ

На территории России есть труднодоступные места, где экономически не выгодно постройка станции, которые используются традиционное ископаемое топлива и базовые контуры. Атомные электростанции малой мощности используют малогабаритные реакторы, которые позволяют упростить постройку АЭС и свести к минимуму экономические затраты.

В качестве объекта исследования рассмотрена АЭС ММ МАРС-2 [1] с бинарным турбинным контуром на базе ГТУ закрытого типа на CO_2 и ПТУ на фреоне (рис. 1).

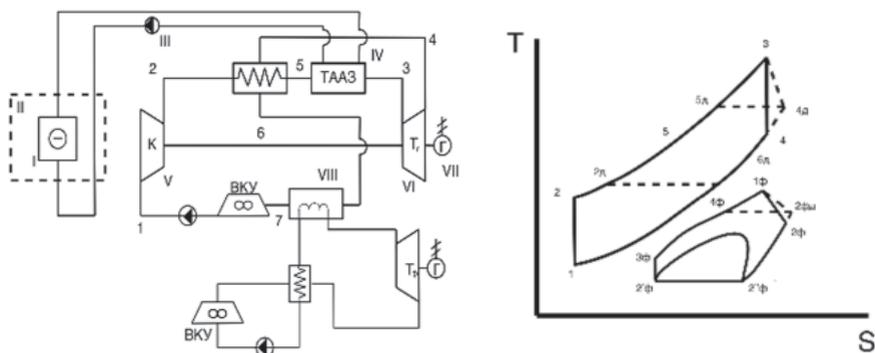


Рис. 1. Тепловая схема и T, s-диаграмма термодинамического цикла установки АЭСММ-ПТУ на октафторциклобутане

Были проведен подбор рабочего вещества для солевых, газовых и бинарных циклов и просчитаны мощности и КПД всей станции. Обоснован выбор рабочих тел бинарных циклов, определены основные показатели термодинамической эффективности.

Впервые были рассчитаны тепловые характеристики такого цикла для ГТУ и ПТУ мощностью 5066,46 кВт, КПД такого цикла может составить 52,2%.

Литература

1. Микротопливный реактор с жидкосолевым тепло-носителем МАРС для малой энергетики / П.Н. Алексеев, И.А. Белов, Н.Н. Пономарев-Степной, Н.Е. Кухаркин, С.А. Субботин, Ю.Н. Удянский, А.В. Чибиняев, Т.Д. Щепетина, П.А. Фомиченко // Атомная энергия. 2002. Т. 93. Вып. 1. С. 3–13.

*М.Н. Маркграф, студ.; Е.А. Ушак, студ.;
рук. А.В. Рыженков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТА, ПРИЛЕГАЮЩЕГО К МЕТРОПОЛИТЕНУ

Метрополитен является крупнейшей системой подземного транспорта в России, а по объему пассажиропотока Московский метрополитен входит в пятерку наиболее загруженных метрополитенов мира. В самые загруженные дни он перевозит до 9,7 млн пассажиров, что создает дополнительные требования к инженерным системам обеспечивающим комфортные условия для пассажиров и персонала.

В последние годы система метро значительно сократила уровень городских пробок, однако столкнулась с новой проблемой: тепловым загрязнением подземных пространств, что создает дополнительные нагрузки на инфраструктуру и систему вентиляции, угрожая безопасной и эффективной работе метро. Температурное поле грунта меняется за время эксплуатации метрополитена вследствие образования прогретой области прилегающего грунтового массива. Данное явление обусловлено поступлением теплоты из внутренних помещений метрополитена в окружающий массив [1].

Использование теплонасосных установок (ТНУ) в системе метрополитена позволят не только отводить избыточное тепло грунта, но и эффективно его утилизировать. Тепло грунта, преобразованное с помощью ТНУ, может быть использовано для различных целей: обогрева промышленных помещений, сушки материалов, горячего водоснабжения и т.д. Утилизируемое тепло можно также использовать, как систему «теплый пол» на входах в вестибюли станций метро, защищая их от обмерзания зимой. Известно множество примеров успешного использования ТНУ в качестве источника отопления и утилизации потенциала теплоты. Достаточно эффективно данную технологию начали внедрять в Минском метрополитене [2].

Таким образом, использование ТНУ в метрополитене не только способствует снижению теплового загрязнения грунта, но и повышает энергоэффективность за счет использования низкопотенциального тепла вторично.

Литература

1. **Г.П. Васильев, В.Ф. Горнов, П.В. Шапкин, М.И. Попов, А.А. Бурмистров.** «Теплонасосные системы теплохладоснабжения объектов Московского метрополитена».
2. **Рыктер, В.М.** «Модернизация системы теплоснабжения станций минского метрополитена с внедрением тепловых насосов».

К.Д. Трофимов, студ.;
рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОЖИДКОСТИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Автоматические системы измерения играют ключевую роль в современных научных исследованиях, так как при проведении экспериментов требуется измерение различных физических величин, что влечет за собой необходимость создания измерительных систем, обеспечивающих сбор данных, а также обработку и анализ сигналов.

В процессе исследования теплофизических и эксплуатационных свойств наножидкости возникла необходимость в разработке измерительной системы, способной осуществлять многопараметрические измерения в заданные временные интервалы, а также обеспечивать сбор, анализ данных и их визуализацию в графическом формате. После анализа различных вариантов была выбрана платформа Arduino [2], которая оказалась оптимальной для нашей установки благодаря своим широким возможностям настройки и адаптации под специфические требования эксперимента. Использование Arduino [1] позволяет легко интегрировать различные датчики и модули, что обеспечивает гибкость конфигурации системы и эффективное выполнение поставленной задачи. Дискретные электронные компоненты и микропроцессорные платформы предлагают большую кастомизацию, но требуют высокой квалификации и значительных временных затрат на освоение. Arduino, в свою очередь, представляет собой более доступный вариант, позволяющий быстро разрабатывать прототипы и обеспечивать хороший баланс между доступностью и гибкостью.

Таким образом, применение Arduino не только ускоряет процесс разработки, но и позволяет научным группам реализовывать сложные проекты с ограниченными ресурсами. Платформа поддерживает обширное сообщество разработчиков, что облегчает доступ к ресурсам, библиотекам и примерам, способствующим более быстрому освоению технологий. В результате, использование Arduino становится важным инструментом для научных исследований, что открывает новые возможности для инноваций и экспериментов в различных областях науки и техники.

Литература

1. Журакулов Т.Т., Нарзуллаева З.Х., Хамроев А.И. ПРИНЦИП РАБОТЫ АРДУИНО И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ // Universum: технические науки: электрон. научн. журн.
2. Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino.cc/>, свободный.

*Е.А. Меньшикова, студ.;
А.К. Лямасов, к.т.н., доцент НИУ «МЭИ»*

АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ШЕСТЕРЕННОМ НАСОСЕ

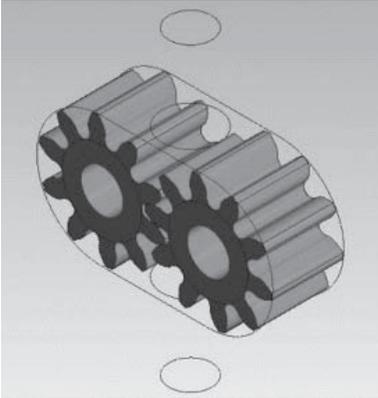


Рис. 1. 3D-модель шестеренного насоса в программе ANSYS

ного рабочего механизма (рис. 1) и проведение исследований для жидкостей различной вязкости.

Для анализа гидродинамической картины течения вязкой жидкости в шестеренном насосе и оценки его параметров используется 3-х мерный гидродинамический расчет в специализированном ПО. При этом одним из важных этапов является задание граничных условий и модели течения.

Проведенный анализ номенклатуры объемных гидромашин с расходом до 30 м³/час показал, что число Рейнольдса находится в диапазоне от 2 до 1600 для жидкостей вязкостью от 100 до 3000 сСт. Таким образом, выявлено, что в большинстве случаев шестеренные насосы работают при ламинарном течении жидкости.

В дальнейшем планируется построение расчетной области на базе спроектирован-

Литература

1. **Зуева Е.Ю.** Гидродинамические процессы при ламинарном течении вязкой жидкости в щелевых каналах с подвижными стенками: учебное пособие. М: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. **Юдин Е.М.** ШЕСТЕРЕННЫЕ НАСОСЫ. Основные параметры и их расчет. Издательство «Машиностроение», 1964.

А. Альнассар, асп.; рук. А.Н. Макеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТЕПЛОВОЙ ТРУБЕ И МЕДНОЙ ТРУБЕ

Эффективность теплопередачи имеет решающее значение в различных инженерных приложениях, особенно в системах терморегулирования и энергетике. Поэтому на практике часто возникает вопрос обеспечения наибольшего потока передачи тепла. С учетом обозначенного вопроса в данном отчете сравниваются возможности теплопередачи тепловой трубы и трубы из цельной меди диаметром 6 мм и длиной 90 мм.

Тепловой поток: $Q = kA(\Delta T / L)$ [Вт], $Q = \Delta T/R$ [Вт] [1]

Результаты исследования показывают, что тепловая труба, использующая механизм фазового перехода с теплопроводностью 31835 Вт/(м.К), по своим характеристикам превосходит медную трубу, которая имеет теплопроводность около 400 Вт/(м.К).

Моделирование процесса переноса теплоты в ANSYS (рисунок 1) позволило получить представление о распределении температуры вдоль длины образцов.

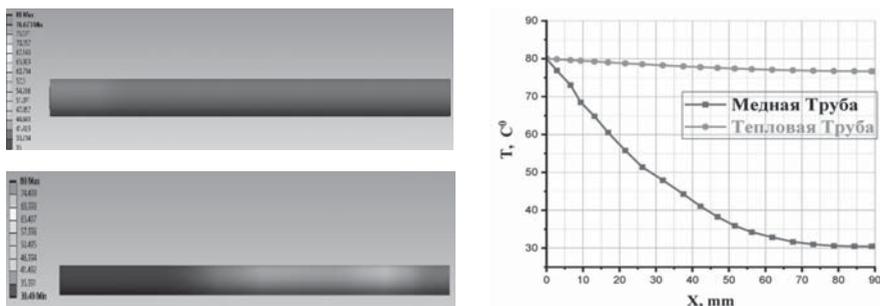


Рис. 1. Распределение температуры по длине трубы

Результаты моделирования показывают, что высокая теплопроводность тепловой трубы обеспечивает более равномерное распределение температуры по ее длине, способствуя эффективной передаче тепла при компактной конструкции. Напротив, для достижения сопоставимой скорости теплопередачи с медной трубой потребовался бы диаметр почти в 9 раз больший, что значительно снизило бы эффективность использования пространства и увеличило бы общий объем системы аккумуляции тепла.

Литература

1. Cengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar. "Introduction and basic concepts." Heat and Mass Transfer Fundamental and Applications. New York: McGraw-Hill Education, 2015. 7–10.

М.А. Боярский, студ.; Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

В связи с увеличением мощностей процессоров для компьютеров, необходимы более совершенные системы охлаждения. Увеличение производительности процессоров влечет за собой увеличение скорости нагрева и температурного уровня в процессоре. Одним из перспективных решений увеличения количества снимаемого тепла с нагреваемой поверхности является использование наножидкостей в качестве теплоносителя в контуре охлаждения. Использование наножидкостей позволяет увеличить коэффициент теплопроводности [1] относительно базовых жидкостей. Однако в настоящий момент эксплуатационные свойства наножидкостей малоисследованы.

Данное исследование направлено на изучение эксплуатационных свойств различных наножидкостей в системах охлаждения: стабильность состава наножидкости в течении времени эксплуатации, зависимость вязкости и теплопроводности от времени эксплуатации, изменение коэффициента теплоотдачи со временем эксплуатации. Исследование данных свойств производится при различных концентрациях и рабочих температурах. Эксплуатационные свойства изучались на экспериментальной установке, включающей в себя нагреватель, имитирующим нагрев процессора, и охлаждающий контур. Анализ и сбор экспериментальных данных осуществляется с помощью измерительной системы на базе Arduino, что позволяет визуализировать их, а также автоматизировать данный процесс. Для получения наножидкости используется двухступенчатый метод подготовки [2]. В качестве стабилизирующего реагента используется поливинилпирролидон, для стабилизации наночастиц и предотвращения их скорого оседания.

В результате исследований, была получена зависимость эксплуатационных свойств наножидкостей от различных параметров. Данная зависимость позволит подобрать оптимальную наножидкость под конкретную задачу охлаждения оборудования.

Литература

1. **Madhusree Kole, T.K. Dey**, Effect of prolonged ultrasonication on the thermal conductivity of ZnO–ethylene glycol nanofluids, *Thermochimica Acta*, Volume 535, 2012.
2. **Haoran Li, Li Wang, Yurong He, Yanwei Hu, Jiaqi Zhu, Baocheng Jiang**, Experimental investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, Volume 88, 2015.

А.А. Терехова, студ.; рук. С.В. Григорьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ ПАРОСТРУЙНОГО ВПРЫСКА

Повышение эффективности процессов конденсации напрямую связано с возможностью снижения энергопотребления, что является одной из приоритетных задач современного технологического развития. В условиях, когда энергетические ресурсы становятся все более дорогими и дефицитными, интенсификация процессов теплообмена приобретает важное значение. Неконденсирующиеся газы оказывают значительное влияние на интенсивность теплообмена, создавая дополнительное термическое сопротивление и снижая производительность теплообменников. В условиях растущего спроса на энергоэффективные системы важность исследований по снижению влияния НКГ на процессы конденсации становится особенно актуальной для повышения общей производительности оборудования.

В работе проведен анализ одного из методов повышения эффективности теплообмена в присутствии неконденсирующихся газов: впрыска паровой струи [1]. Предложена модель конденсационного теплообменника, включающую в себя впрыск паровой струи (см. рис. 1). Исследование показало, что метод пароструйного впрыска обеспечивает более стабильное увеличение коэффициента теплоотдачи в широком диапазоне массовых долей неконденсирующихся газов. Данный метод является новым подходом к улучшению процессов конденсации, что позволяет снизить негативное воздействие неконденсирующихся газов на эффективность теплообменных процессов.

Применение метода пароструйного впрыска, продемонстрировало высокую эффективность в условиях присутствия НКГ и позволило повысить коэффициент теплопередачи в 1,18–1,77 раза, а коэффициент теплоотдачи в 2,5. Способ может быть внедрен на электростанциях и предприятиях где требуется поддержание стабильного уровня теплоотдачи. Применение данного метода позволит сократить энергозатраты на охлаждение и повысить эффективность работы оборудования.

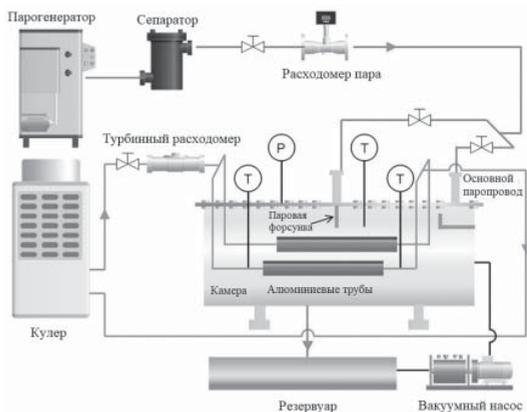


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Литература

1. D.Y. Ji, D. Kim, K.Y. Lee. Enhancement of condensation heat transfer in the presence of non-condensable gas using steam jet method, Int. J. Heat Mass Transf. 130 (2019) 603–612.

*А.А. Сергиенкова, соиск.;
рук. Е.В. Гусев, к.т.н., доц. (ИГУЭ, Иваново)*

СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ И КЛАССИФИКАЦИИ ВЫСОКОВЛАЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из направлений повышения эффективности тепловой обработки высоковлажных дисперсных материалов является разработка сушильных установок, совмещающих протекание гидромеханических и тепломассообменных процессов в движущемся направленном вихревом газодисперсном потоке в рабочем пространстве сушильных камер [1].

В связи с этим была разработана и апробирована сушильная установка роторно-вихревого типа состоящая из сушильной конической камеры с 3-х лопастным ротором и приводом и систем закручивания по спирали газового потока, подачи теплоносителя и влажного материала, диспергирования и помола частиц и сепарации газодисперсного смеси [2].

Повышение эффективности процесса обезвоживания дисперсного материала в сушильной камере с вращающимся ротором связано с регулированием степени взаимодействия частиц с движущим по спирали газовым потоком и возможностью измельчения оседающих частиц с последующим их возвращением в теплоноситель. К основным преимуществам сушильной установки можно отнести возможность совмещения процессов распыливания, смешения, измельчения с сушкой высоковлажных дисперсных материалов и регулирование газодинамических и тепловых параметров газодисперсного потока с получением заданной конечной влажности продукта.

В результате проведенных исследований установлены закономерности влияния температуры теплоносителя ($150 \div 250^\circ\text{C}$) и расходной концентрации ($\mu = G_r / G_r = 0,03 \div 0,16$ кг/кг) твердой фазы (золы ТЭС влажностью 82%) на удельный расход воздуха ($l = G_r / W = 30 \div 80$ кг/кг) и удельные потоки подведенной ($q_{\text{под}} = (5 \div 18) 10^3$ кДж/кг) и используемой ($q_{\text{исп}} = (4 \div 11) 10^3$ кДж/кг) теплот с учетом конечной влажности материала ($2 \div 5\%$).

По полученным данным установлено, что понижение удельного расхода воздуха осуществляется за счет увеличения температуры теплоносителя и расходной концентрации при постоянной влажности готового продукта. Это объясняется более полным использованием теплоты, вносимой теплоносителем в сушильную установку и повышением ее теплоэффективности.

Литература

1. **Сажин, В.Б., Сажин, Б.С.** Научные основы стратегии выбора эффективного сушильного оборудования. — М.: Химия, 2013. — 554 с.
2. Условия и конструктивные меры масштабного перехода от лабораторных установок к промышленным образцам при проектировании сушильных агрегатов вихревого типа / А.И. Сокольский., Е.В. Гусев, О.Б. Колибаба // Вестник ИГУЭ: Журнал, — Иваново: ООО «ПрессСто», — 2020, — № 2. — С.22–29.

С.А. Стерлягов, студ. (НГУ, Новосибирск);
рук. В.И. Терехов, д.т.н., проф. (ИТ СО РАН, Новосибирск)

ОСОБЕННОСТИ ГРАДИЕНТНЫХ ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ВИСМУТА

Для количественного измерения величины теплового потока на поверхности актуальным является применение градиентных датчиков на основе висмута [1]. Однако для данного типа датчиков существует ряд принципиальных вопросов, связанных с особенностями их строения, в частности имеются только теоретические представления о влиянии наклона кристаллографических осей на чувствительность датчика.

Для изготовления датчиков использовался монокристалл висмута, выращенный по методу Чохральского [2], изготовил градиентные датчики теплового потока, представляющих собой пластинки размерами 0,3×7 мм и толщиной 0,3 мм с различным углом наклона кристаллографических осей и закреплены на одной текстолитовой пластине. Пластина была помещена на нагреватель с тепловым потоком 200 Вт/м². На рис.1 представлены полученные им данные по напряжению возникающего выходного сигнала.

Полученные данные показали, что соотношения выходного напряжения датчика и угла наклона кристаллографических осей в висмуте расходятся с теорией, описанной в работе [1]. В частности, присутствует напряжение при угле 0° и при 15° напряжение выше, чем при 45°.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24-19-00358).

Литература

1. Сапожников С.З., Митяков В.Ю., Митяков А.В. Основы градиентной теплометрии. СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2012.
2. Маянов Е.П. и др. Метод Чохральского: история и развитие // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. 2018. Т. 19. № 1.

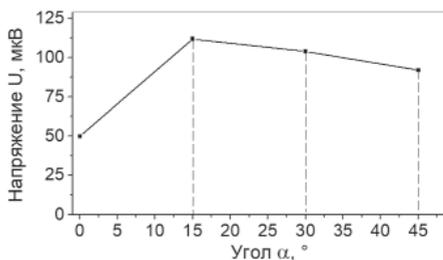


Рис. 1. Напряжение выходного сигнала на датчиках теплового потока с различным углом наклона кристаллографических осей

А.М. Безруков, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТОПОК СУШИЛЬНЫХ БАРАБАНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Сушильные барабаны для минеральных удобрений представляют собой важное оборудование в процессе производства и обработки удобрений. Они используются для удаления влаги из минеральных веществ. Что позволяет улучшить их хранение и транспортировку, а также повысить эффективность применения в сельском хозяйстве.

Нами проанализирована работа топок сушильных барабанов для производства минеральных удобрений, которая реализована в программном комплексе MICROSOFT OFFICE EXCEL.

Для анализа нам были предоставлены данные работы восьми топок сушильных барабанов за период с 01.10.2021 до 15.10.2024. Мы выяснили сколько времени требуется для охлаждения топок, количество остановок каждой из топок сушильных барабанов за этот период и время, когда каждая из топок находилась в работе.

График охлаждения топки сушильного барабана приведен на рис. 1. График количества остановок топки за год представлен на рис. 2.

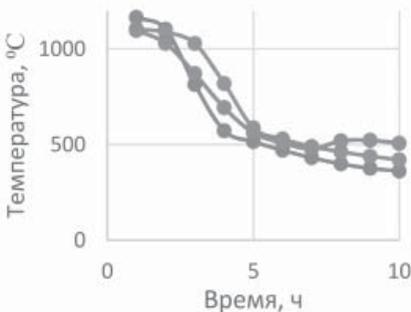


Рис. 1. График охлаждения топки сушильного барабана

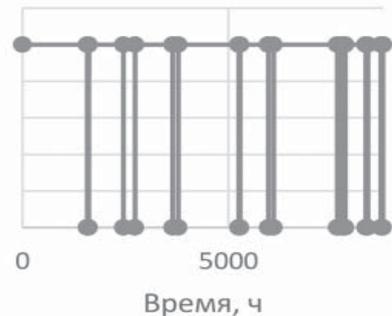


Рис. 2. График количества остановок топки за год

Литература

1. Сокольский, Анатолий Иванович. Сушка дисперсных материалов в аппарате с активной гидродинамикой двухфазного потока / Иван. хим.-технол. ин-т. — Иваново, 1988. — 141 с.: ил.

Ц. Цэрэндорж, рук. И.А. Султангузин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КАТЕГОРИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

В последние годы во всем мире большое внимание уделяется снижению глобального потепления, сокращению выбросов парниковых газов и достижению нулевого углеродного следа. Основной отраслью, где это имеет особое значение, является энергетика, особенно в контексте снижения теплопотерь в зданиях. Теплоизоляционные материалы, являющиеся важной составляющей конструкции оболочки здания, играют ключевую роль в повышении энергоэффективности, снижении теплопотерь и сокращении углеродного следа. В данном исследовании с использованием программы PHPP (Passive House Planning Package) для оценки энергоэффективности было изучено влияние утепления здания в Монголии на потребление энергии.

В статье рассматривается соответствие здания свода правил и выбор ТИМ для радикального снижения теплопотерь. По расчетам теплопотребление здания составляет 190 кВт·ч/м²·год. Данный показатель относится к энергетической эффективности здания категории (D) для зданий. В статье предложены меры, которые необходимо предпринять для вывода данного показателя здания на уровень (A). Выражение, используемое для расчета годового потребления на отопление:

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_{Gw} \cdot (Q_S + Q_I) \quad (1)$$

где: Q_H — годовое потребление на отопление, кВт·ч/(м²·год)

Q_T — трансмиссионные тепловые потери, кВт·ч/(м²·год)

Q_V — теплопотери вентиляции, кВт·ч/(м²·год)

Q_S — теплопритока за счёт солнечного излучения, кВт·ч/(м²·год)

Q_I — теплопритока за счёт внутренних тепловыделений, кВт·ч/(м²·год)

η_{Gw} — коэффициент использования освобожденного тепла.

В данном исследовании были исследованы результаты утепления наружных стен и замены окон на энергоэффективные окна, при этом утепление стен позволяет снизить теплопотери на 31–37%, а кроме того, замена окон может снизить теплопотери на 46–52%. В результате показан процент снижения теплопотерь, достигнутый за счет изоляции здания реальным ограждением. В результате дополнительное утепление пола и крыши позволяет отнести здание к категории энергоэффективности (A).

Литература

1. **Файст В.** Основные положения по проектированию пассивных домов / перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А.Е. Елохова. — М.: ООО «КОНТИ ПРИНТ»: — Москва: — 2015. — С. 142.

Р.Е. Цуканов, асп.;

рук-ли А.Б. Гаряев, д.т.н., проф., И.Ф. Самсон, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АДСОРБЦИОННОГО РОТОРНОГО РЕГЕНЕРАТОРА

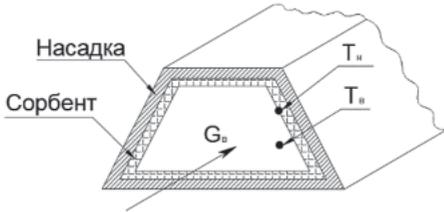


Рис. 1. Канал сорбционного роторного осушителя

Одним из наиболее эффективных способов добиться необходимого уровня влажности воздуха является использование сорбционных роторных осушителей. Помимо высокой эффективности осушения воздуха их преимуществами является непрерывность работы, и снижение затрат энергии на процесс осушки.

Однако методики расчета сорбционных роторных осушителей не существует. Для оптимизации конструктивных параметров необходимо теоретическое исследование путем математического моделирования процессов, происходящих в них.

Целью данной работы является разработка математической модели сорбционного роторного осушителя. Модель включает нестационарные уравнения энергии для воздуха (1) и для насадки (2), а также уравнение диффузии (3) и уравнение кинетики сорбции (4), которое принято по [1]. Неизвестными величинами являются температура воздуха T_b и насадки T_n , влагосодержание воздуха x и содержание влаги в сорбенте w .

$$G c_b \frac{\partial T_b}{\partial z} + \Pi \alpha (T_b - T_n) + c_b \rho_b S_b \frac{\partial T_b}{\partial \tau} = 0 \quad (1)$$

$$\lambda_n S_n \frac{\partial^2 T_n}{\partial z^2} + c_n \rho_n S_n \frac{\partial T_n}{\partial \tau} + \Pi \alpha (T_n - T_b) + q_{адс}(\tau) = 0 \quad (2)$$

$$G \frac{dx}{dz} - \Pi \beta (x - x_n) + \rho_{св} S_b \frac{dx}{d\tau} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dw}{d\tau} = \frac{F_0 D_s}{R_p^2} (w_{eq} - w(t)) \quad (4)$$

В модель входит также выражение для теплоты сорбции $q_{адс}(\tau)$ и соотношение связывающее парциальное давление воздуха вблизи стенки и содержание влаги в сорбенте.

Литература

1. Shazia H., Suryadjaya A. Adsorption Characteristics of Silica Gel-Water Pairs in Personal Protection Equipment // Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika. — 2023. — № 22. — С. 50–58.

*В.А. Косов, М.А. Косов, студенты;
рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Саратов),
А.С. Кузнецова, студ. ;
рук. Р.И. Кузьмина, д.х.н., проф.
(СНИГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов)*

ЭФФЕКТИВНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОТОПИТЕЛЬНО-ВАРОЧНАЯ ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ

Бытовые твердотопливные печи для отопления помещений и приготовления пищи широко распространены в сельских поселениях, частных домах, в дачах. Они могут быть как стационарными, так и переносными, и разнообразны по своему конструктивному исполнению. Общим их недостатком является низкое тепловое к.п.д. из-за больших потерь теплоты с уходящими дымовыми газами и загрязнение окружающей среды вредными для природы компонентами.

Нами разработана транспортабельная каталитическая отопительно-варочная твердотопливная печь длительного горения [1], в значительной степени лишенная недостатков известных печей подобного назначения. В предложенной печи используется ряд новых инновационных решений, повышающих ее функциональность и эффективность.

Так, наличие в печи камеры каталитического дожигания дает возможность практически полностью устранить продукты недожога и экологически вредные компоненты в составе топочных газов. Проведенные опыты показали также значительное снижение содержания диоксида углерода в топочных газах (декарбонизация).

На внутренней поверхности варочной горизонтальной чугунной плиты имеются ребра, образующие ряды открытых снизу ниш, заполняемых продуктами горения, что способствует интенсификации прогрева варочной плиты и достижению однородности температурного поля на всей площади поверхности плиты. К особенностям печи относится и наличие теплоутилизационных устройств, используемых для высушивания пищевых продуктов или одежды, а также для других нужд. Расчетный тепловой к.п.д. печи составляет 0,9.

Студенты-соавторы настоящей работы участвовали в составлении заявки на изобретение и расчетах печи, в проведении опытов по каталитическому сжиганию твердого топлива.

Литература

1. Пат. РФ № 2776986, МПК F 24 В 1/26, F 24 В 9/00, F 24 В 5/06./ Ю.Я. Печенегов, И.Г. Остроумов, Р.И. Кузьмина, О.В. Бурухина, В.А. Косов, М.А. Косов. Опубл. 29.07.2022, Бюл. № 22.

Д.А. Мечник асп.; рук. А.А. Арбатский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАБОТЫ РОТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ УТИЛИЗАТОРОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

В условиях глобального изменения климата и растущих требований к энергоэффективности, эффективное использование ресурсов становится одной из ключевых задач. Роторные тепловые утилизаторы, являясь важным элементом систем вентиляции и кондиционирования и играют значительную роль в оптимизации энергопотребления и снижении выбросов углекислого газа.

На данный момент при исследовании работы роторных тепловых утилизаторов наиболее распространены методики, основывающиеся на осреднении коэффициентов теплопередачи и температурного напора [1, 3]. Данные методы дают представление о совокупной эффективности работы теплового утилизатора, в заданных условиях, однако не всегда позволяют построить расчетные модели, учитывающие широкий набор факторов (например воздействие низких температур, при высокой влажности). Также недостаточно рассмотрены аспекты обеспечения точности постановки эксперимента, особенно когда речь идет о широком диапазоне варьируемых параметров температуры и влажности воздуха.

В рамках данной работы был опробован подход к экспериментальному исследованию роторных регенераторов на примере установки AF-R-350-V-L-Z. Произведено исследование эффективности теплового утилизатора при различных условиях работы, также изучены основные проблемы, связанные с точным измерением всех параметров, позволяющих рассчитать эффективность теплового утилизатора.

По результатам проведенного исследования поставлен эксперимент с доказанной достоверностью, при заданных условиях работы роторного теплового утилизатора в системе вентиляции, достоверность исследования подтверждалась согласно [4].

Литература

1. **Исаченко В.П. и др.** Теплопередача. — 1975.
2. **ГОСТ Р ЕН 308-2011** «Методы испытаний для определения критериев мощности установок регенерации тепла из смеси воздух/воздух и воздух/отработанный газ».
3. **ГОСТ 26548-85** «Воздухонагреватели. Методы испытаний».
4. **ГОСТ Р ИСО 5479-2002** «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения».

*В.А. Бодина, П.С. Басова, В.В. Бирюков, А.Ф. Волохов, студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АДДИТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последние десятилетия возникла необходимость в разработке и производстве геометрически сложных изделий для любого применения. Для промышленного сектора действительно важно использовать новые технологии производства, направленные на создание инновационных материалов, обладающих все более высокими механическими и теплофизическими свойствами. В этом отношении появление 3D-принтеров открыло совершенно новые возможности, и большое значение было придано аддитивному производству (АМ). Этот метод в значительной степени отличается от обычных процессов производства изделий, обычно основанных на плавке металлов или механической обработке с вырезанием стружки, при которой желаемый объект изготавливается из единого блока. Вместо этого новая технология АМ основана на послойной процедуре, заключающейся в нанесении материала тонкими слоями, один над другим, в виде металлической проволоки, порошков или жидкостей, с получением окончательного трехмерного эскиза желаемого изделия.

Точное измерение анизотропных тепловых свойств деталей, напечатанных на 3D-принтере, в частности теплопроводности, имеет жизненно важное значение для понимания и прогнозирования тепловых характеристик этих материалов для применения в системах теплообмена и для разработки новых теплопроводных материалов.

Целью работы является измерение теплопроводности алюминиевой бронзы аддитивного производства стационарным методом сравнительной резки прутков [1]. При использовании стандартного материала с известной теплопроводностью — меди, теплопроводность образца может быть получена без измерения теплового потока. Однако по-прежнему необходимы условия для обеспечения равного теплового потока между стандартным материалом и испытуемым образцом. Для получения данных был разработан экспериментальный стенд. По результатам экспериментов будет проведена корреляция коэффициентов теплопроводности, полученными другими способами.

Литература

1. **Zhao, Dongliang & Qian, Xin & Gu, Xiaokun & Jajja, Saad & Yang, Ronggui.** (2016). Measurement Techniques for Thermal Conductivity and Interfacial Thermal Conductance of Bulk and Thin Film Materials. *Journal of Electronic Packaging*. 138. 10.1115/1.4034605.

*Т.В. Яцюк, Ц. Цэрэндорж, аспиранты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

В настоящее время для многоквартирных домов (МКД) в России отсутствуют единые технические требования и критерии энергоэффективных мероприятий (видов работ), осуществляемых при проведении капитального ремонта. Помимо прочих энергоэффективных мероприятий [1], жилой дом можно дооборудовать солнечными панелями и покрывать собственные расходы электроэнергии.

Использование панелей на кровле или фасаде МКД может полностью обеспечить потребность в электроэнергии на бытовые нужды, но при этом потребуются решать, как использовать излишки электричества, которые образуются в солнечное время года.

В [2] рассмотрены варианты оптимального расположения солнечных панелей для покрытия общедомовых нужд в 32,7 МВт·ч. При использовании 130 солнечных панелей на фасаде здания можно покрыть 80% от общедомовых нужд, при этом из-за сезонной составляющей в летние месяцы года будут образовываться излишки электрической энергии в размере 6,4 МВт·ч, и в осенне-зимний период будет недостаток электроэнергии 7,4 МВт·ч для покрытия общедомовых нужд. Альтернативным вариантом для покрытия общедомовых нужд является размещение 90 солнечных панелей на кровле. Из чего следует, что размещение солнечных панелей на крыше будет эффективнее на 36% чем на юго-западном фасаде здания.

Литература

1. **Файст В.В.** Основные положения по проектированию «пассивных домов». М.: Изд-во АСВ, 2011.
2. **Яцюк Т.В., Цэрэндорж Ц., Султангузи И.А., Яворовский Ю.В., Говорин А.В.** Применение солнечных панелей для повышения энергоэффективности многоквартирного дома в Московской области // Гидравлические и теплотехнические системы и агрегаты. XXVII Межд. н.-т. конф. М.: Мир науки, 2023.

*Т.В. Яцюк, аспиранты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Главными задачами любого жилищного строительства, является создание благоприятного микроклимата внутри здания, доведение здания до высокого уровня энергоэффективности, оптимизация капитальных затрат строительства, сокращение эксплуатационных расходов, минимизация ущерба окружающей среде. Это увеличивает значимость этапов проектирования и накладывает ответственность на проектировщиков за выполнение требуемых параметров. Для решения этих задач требуется на этапе концептуального проектирования ввести этап энергомоделирования с использованием BIM-модели, произвести оценку энергоэффективности и расчет энергобаланса в RHPP с различными параметрами здания, сравнить результаты и обосновать выбранные решения.

BIM-моделирование с использованием различных программных комплексов использовалось для энергоэффективного жилого дома общей площадью 205 м², построенного в поселке «Талицкие берега» Московской области [1, 2].

Проектирование жилого дома включал в себя этап энергомоделирования, для чего графическое исполнение дома было выполнено в программе Design RH с последующей трансляцией в программу RHPP для подбора оптимальных параметров дома с удельным потреблением тепловой энергии на отопление во время эксплуатации, приближенному к стандарту пассивного дома [3].

Литература

1. **Yatsyuk T.V., Alimgazin A. Sh., Yavorovsky Yu.V., Chaikin V.Yu., Merzadinova G.T., Zhakishev B.A. and Sultanguzin I.A.** BIM modeling for life cycle of building: modern realities and development demands in Russia // VII International Annual Conference «Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures» (SPCECI 2021), May 27–28, 2021, Ekaterinburg, AIP Conference Proceedings 2701, pp. 020002-1–020002-11; <https://doi.org/10.1063/5.0122173>.
2. **Sultanguzin I.A., Kruglikov D.A., Yatsyuk T.V., Kalyakin I.D., Yavorovsky Y.V., Govorin A.V.** Using of BIM, BEM and CFD technologies for design and construction of energy-efficient houses // ES3 Web of Conferences. Vol. 124, 03014 (2019), SES-2019, P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912403014>.
3. **Файст В.В.** Основные положения по проектированию «пассивных домов»: Изд-во АСВ, 2011.

*В.В. Бирюков, П.С. Басова, В.А. Бодина, А.Ф. Волохов, студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОФАЗНОЙ И ДВУХФАЗНОЙ МИКРОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ: ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ЖИДКОСТИ И КИПЕНИЕ

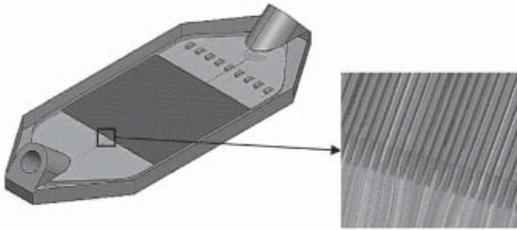


Рис. 1. Трехмерная модель микроканальной системы охлаждения

Современные требования к производительности вычислительных систем и миниатюризации микроэлектронных устройств обуславливают значительное увеличение тепловой нагрузки, которую необходимо эффективно отводить для обеспечения надежной работы оборудования. Микроканальные системы охлаждения, как однофазные, так и двухфазные, представляют собой перспективные решения данной задачи. Однофазные системы с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости обеспечивают стабильное охлаждение с умеренными энергозатратами. Двухфазные системы, благодаря процессу кипения, позволяют достигать высокой теплопередачи, однако они характеризуются более сложным управлением теплогидродинамическими процессами.

В рамках данной работы проводится сравнительный анализ эффективности однофазной и двухфазной микроканальных систем охлаждения (рис. 1). Ожидается, что полученные экспериментально результаты помогут оптимизировать конструкцию микроканальных систем, повысить их энергоэффективность и надежность в условиях высокой тепловой нагрузки, таких как центры обработки данных и телекоммуникационные базы.

Литература

1. Yu Z.-Q., Li M.-T., Cao B.-Y. A comprehensive review on microchannel heat sinks for electronics cooling // Int. J. Extrem. Manuf. 2024. V. 6, № 2. P. 022005. DOI: 10.1088/2631-7990/ad12d4.

*П.С. Басова, В.А. Бодина, В.В. Бирюков, А.Ф. Волохов, студенты;
рук. Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н., доц.*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На сегодняшний день охлаждение электронных чипов является одной из самых серьезных проблем, вызванных ростом спроса на все более мощные электронно-вычислительные машины. Перегрев компонентов компьютерных и серверных систем становится всё более масштабной проблемой в силу увеличения тепловыделения процессоров. По этой причине новые технологии охлаждения, такие как системы жидкостного охлаждения, заменяют традиционные системы воздушного охлаждения.

Для численного моделирования охлаждения процессора была создана 3D модель водоблока Vargow LTSE-04I. Геометрические характеристики теплообменной поверхности: высота ребер — 3 мм, длина ребер — 35 мм, ширина ребра — 0,3 мм, расстояние между ребрами — 0,38 мм. Для имитации нагрева процессора задаются следующие граничные условия: тепловой поток — 500 Вт, расход рабочей жидкости — 0,01 кг/с, коэффициент теплопроводности меди 370 Вт/м·К, температура жидкости на входе — 25°C. По результатам численного расчета будет получена гидродинамическая картина течения во внутренней полости водоблока, потери давления, температура охлаждающей жидкости на выходе, коэффициент теплоотдачи по хладагенту. Для оптимизации теплообмена будет подбираться эффективная геометрия, форма, конфигурация ребер теплообменной поверхности водоблока. Основная цель модификации — эффективное охлаждение, сокращение количества материала, используемого для производства водоблока, уменьшение затрат на прокачку жидкости через систему. По характеристикам численного расчета моделей водоблоков будут сделаны выводы о влиянии геометрических параметров ребер на эффективность охлаждения процессора.

Итогом работы является спроектированный водоблок с улучшенными характеристиками теплоотвода для жидкостной системы охлаждения. Использование данного водоблока позволит обеспечить устойчивую и долгосрочную работу высокопроизводительных устройств.

Литература

1. **Vargas-Vazquez, Jose-Carlos & Gutierrez-Garcia, Jose-Angel & Hernandez-Guerrero, Abel & Luviano-Ortiz, Luis & Zuñiga-Cerroblando, Jose-Luis.** (2018). Waterblock Modelling for GPU Liquid Cooling. V08BT10A027.

*М.С. Кожемякин, студ.; М.Ю. Шмаёв, ассист.;
рук. А.Н. Вегера, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящий момент аддитивным технологиям находят всё больше применений в промышленности. На данный момент они уже стали неотъемлемой частью ряда научных и производственных отраслей, имеющих сложные технологические процессы изготовления. В первую очередь это обосновано значительным отличием метода производства, который позволяет существенно облегчить процесс создания сложных элементов деталей, узлов и агрегатов.

Так же можно отметить широкий спектр выбора материала для изготовления деталей. В него входят большая часть широко распространённых пластиков и полимеров, таких как: ABS, PLA, PETG, HIPS, SBS (Watson), TPU (FLEX), NYLON, ASA, PP, PC, POM, PMMA, PEEK, Ceramo, PVA, WAX. Кроме пластиков, в качестве материала печати, могут быть использованы различные композиты и даже металлы [1].

Однако аддитивные технологии не лишены своих недостатков. К ним можно отнести усадку ряда материалов, но что самое важное, это некорректный размер итогового изделия. Эта проблема актуальна для всех принтеров. Причина появления этой ошибки кроется в несовершенстве управляющей программы и исполнительных механизмов. То есть в системе существует некоторая статистическая ошибка управления, которая может быть устранена за счёт введения поправочных коэффициентов при подготовке модели к печати [2].

Метод вычисления основывается на ряде измерения специальной калибровочной модели, и получении её размеров по соответствующим осям. После получения значения они сравниваются с изначальными значениями, по их разнице вычисляется масштабирующий коэффициент, который применяется к детали при последующей печати.

Литература

1. 3D TODAY.: [сайт] — URL: <https://3dtoday.ru/blogs/drprog/osnovnye-vidy-plastikov-dlya-fdm-3d-pecati> (дата обращения 15.10.2024).
2. 3D TODAY.: [сайт] — URL: <https://3dtoday.ru/blogs/garremmash/the-20-most-common-problems-of-3d-printing-part-1> (дата обращения 16.10.2024).

Е.В. Поляков, аспирант; рук. А.Н. Макеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗВИТИЕ И РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Малая распределенная энергетика — это концепция развития энергетики на основе распределенных энергетических ресурсов, которая предоставляет возможности для перехода от традиционной централизованной организации энергетических систем к новым методам и практикам. Этот переход осуществляется в условиях децентрализации и цифровизации энергетических систем, использованием различных видов энергоресурсов, с целью повышения энергетической эффективности систем, снижением их экологического воздействия на окружающую среду [1].

В настоящей работе рассматривается накопленный опыт предшественников и выделяются лучшие практики с примерами и тематическими исследованиями [2]. В условиях анализа текущей ситуации подчеркивается, что в Российской Федерации актуальным вопросом является решение проблем совершенствования структуры генерации тепловой и электрической энергий, в том числе путем синхронизации схем электро- и теплоснабжения. Это обуславливает необходимость интеграции систем малой распределенной энергетики в планы развития крупной электро- и теплоэнергетики. Проведенные расчеты для сравнительной оценки ряда технологий малой распределенной генерации позволили выделить перспективные направления диверсификации энергетической отрасли

В заключении отмечается, что наиболее развитым компонентом сектора малой распределенной в Российской Федерации является распределенная генерация, которая представляет собой комплексные энергообъекты мощностью до нескольких десятков мегаватт (МВт), расположенные вблизи потребителя. В настоящее время малая распределенная энергетика является эффективным инструментом для снижения стоимости энергетических ресурсов для малого и среднего бизнеса. При этом объединение большого количества распределенных генерирующих мощностей в «умную сеть» обеспечивает высокую надежность и гибкость работы систем [3].

Литература

1. **Distributed energy. What is it?** // 2020. 17 p.
2. **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.** Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources. Power system opportunities and best practices. // 2022. 116 p.
3. **V. M. Markova, V. N. Churashev.** Small-scale Distributed Power Generation Development in the Siberian Regions: Evaluation of Efficiency. // Institute Of Economics and Industrial Engineering SB RAS Ave. Ac. Lavrentiev, 17, Novosibirsk, 630090, Russia: Modern Management Forum, 2018. 11 p.

Направление X
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
Power engineering machinery

Руководитель направления:
И.о. директора института
энергомашиностроения
и механики НИУ «МЭИ»
к.т.н. Митрохова Ольга Михайловна

Секция 52

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

*В.С. Власов, асп.; В.С. Сергеенко, студ.;
рук. В.Т. Перевезенцев, к.т.н., доц. (БГТУ, Брянск)*

УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ СОТОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС

В начале 2000-х годов сотовые уплотнения установлены на блоках К-500-65/3000 Смоленской и Воронежской АЭС. При разработке новых конструкций уплотнений и замене выработавших межремонтный срок необходим комплексный подход для решения таких задач, как повышение их надежности, эффективности (снижение расхода пара на собственные нужды), назначению оптимальной величины зазоров, снижению стоимости ремонтных работ, выбор материалов сотовой структуры, технологичности их изготовления, максимальное использование других элементов (неповрежденных) уплотнений, решения вопросов унификации. Изменение величины зазоров в процессе эксплуатации связано с эффективностью уплотнения, а также проявлением неконсервативных сил, связанных с неравномерностью величины зазоров по окружности и, наконец, снижением надежности при касании вращающихся и неподвижных частей агрегатов. Сотовые уплотнения во многом решают проблемы экономичности и надежности, но их работоспособность также зависит от возможных задеваний, приводящих к разрушению сотовой структуры. Инерционность сегментов, на которые напаяна сотовая структура, при касании является причиной разрушения сотовой структуры или её значительным истиранием. Ремонт поврежденных уплотнений весьма затратный (из-за фактически полной замены уплотняемого узла с изготовлением и пайкой новой сотовой структуры на всех сегментах кольца уплотнения). Как правило, сотовая структура для паровых турбин (по аналогии с газовыми турбинами) изготавливается из коррозионностойкого, жаропрочного материала — высоколегированной стали. Однако, в турбинах АЭС температура не превышает 300°C, что позволяет применять соответствующие менее дорогостоящие материалы. Предлагается усовершенствованное, унифицированное сотовое уплотнение, повышенной ремонтно-пригодности, с подпружиненной сотовой пластиной, выполненной из антикоррозионного сплава АМг2 (АМг3) и ячейками сотовой структуры, выполненными электроэрозионным способом на предприятии «Турборемонт» (г. Брянск).

Литература

1. **Буглаев, В.Т.** Сотовые уплотнения в турбомашинах: монография / В.Т. Буглаев, В.Т. Перевезенцев, С.В. Перевезенцев и др. — Брянск: БГТУ, 2006. — 192 с. — ISBN 5-89838-180-5.

И.А. Никитин, асп.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗГРУЗОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ТЕЧЕНИЕ В ДИАФРАГМЕННОМ УПЛОТНЕНИИ

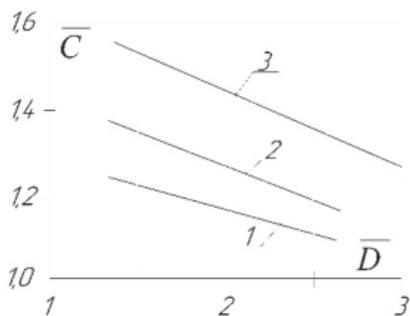


Рис. 1. Зависимость относительной окружной скорости от относительного диаметра

(рис. 1): первая — близкая к традиционно воспринимаемой в [1]; вторая — при увеличенной диафрагменной утечке (например, вследствие естественного или аварийного износа диафрагменных уплотнений), исходя из посылки, что такое увеличение утечек пройдет одновременно по нескольким ступеням ЦВД. Первой модели соответствуют зависимости 1 и 2, второй — зависимости 3. После приведения результатов к единым значениям соответствующих режимных параметров, можно отметить следующие тенденции. Расположение разгрузочных отверстий ближе к центру диска несомненно увеличивает их пропускную способность, как и предполагалось, главным образом за счёт роста коэффициента расхода при снижении окружной скорости ротора, однако закрутка потока на входе в диафрагменное уплотнение возрастает.

Литература

1. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Паровые и газовые турбины для электростанций. Издательский дом МЭИ. 2008 556 с.

Г.Н. Тучнин, студ.; рук. Л.Е. Егорова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТОПОЧНОГО ПРОЦЕССА В КОТЛЕ ПК-24

Эксплуатационная надежность паровых котлов, сжигающих твердое топливо, зависит от многих факторов, в том числе и от интенсивности сероводородной коррозии, поэтому изучение этого явления актуально.

Исследование поверхностей нагрева в топке котла ПК-24 (ст.№15) Иркутской ТЭЦ-10 [1] показало наличие коррозионных повреждений на трубах НРЧ (нижней радиационной части) в зоне расположения горелочных устройств. Анализ состава отложений на наружной поверхности вырезок труб выявил наличие в них серы.

Анализ литературы по механизму сероводородной коррозии и проблемам коррозионных повреждений поверхностей нагрева котлов позволил предположить, что возможная причина её появления на трубах НРЧ, связана с наличием восстановительных зон у экранов топки котла ПК-24.

Целью настоящей работы является моделирование аэродинамики топочного процесса в котле ПК-24, определение причин возникновения зон с недостатком кислорода и предложение мер по их предотвращению.

Для проведения расчетных исследований в программном комплексе SolidWorks была создана модель, представленная на рис. 1.

Исследования проводились на базе программного комплекса ANSYS. Анализ аэродинамики топочного процесса проводился для трех сечений топочной камеры: под горелками, между ярусами горелок, над горелками. Полученные результаты являются основой для разработки рекомендаций по оптимизации режимов подачи воздуха в горелки с целью устранения восстановительных зон у экранов топки.

Результаты исследования могут быть применены и для других станций, где установлены аналогичные котлы. Это позволит повысить надёжность работы экранов котлов и продлить срок службы.



Рис. 1. Модель котла ПК-24

Литература

1. Оценка влияния качественных характеристик угля на изменение технико-экономических показателей и ресурса работы элементов и узлов котельных агрегатов ООО «Байкальская энергетическая компания»: технический отчет / ОАО «ВТИ»; рук. А.В. Штегман. Москва, 2024. 175 с.

Э.А. Уланов, студ.; рук. Д.А. Хохлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ КОТЛА E-530-13,8-560 КТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАГРУЗКИ

В настоящее время несмотря на рост популярности возобновляемых источников энергии, основная часть энергии все же генерируется на станциях, сжигающих органическое топливо — уголь и газ. По оценкам Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, даже при ускорении темпов добычи угля, имеющихся запасов в России хватит ещё на более, чем 100 лет. По этой причине разработка и исследование работы пылеугольных блоков и по сей день остаются актуальными задачами.

В работе рассматривается совместная работа котла и пылесистемы. Котел E-530-13,8-560КТ спроектирован для сжигания донецкого длиннопламенного угля. Котел однобарабанный, вертикально-водотрубный, имеет П-образную компоновку и работает с уравновешенной тягой. Котел оборудован четырьмя молотковыми мельницами тангенциальными (ММТ).

Многовариантные совместные тепловые расчеты котла и пылесистемы (ПС) были выполнены при помощи программы Boiler Designer. Работа оборудования рассматривалась в диапазоне от 60% до 100%. Анализ результатов расчетов показал, что работа котла существенно зависит от количества включенных мельниц. Это обусловлено тем, что ММТ имеет оптимальный диапазон размольной производительности $V_{\text{отгр}}$ в связи с чем на пониженной нагрузке мельница тратит больше энергии на вращение ротора, чем на размол. Также при уменьшении числа работающих мельниц вентиляционный расход становится меньше, что уменьшает потери с уходящими газами

Установлено, что при нагрузке 80% и менее целесообразно отключить одну ММТ, что позволяет увеличить КПД котла с 93,2% до 93,66%. Также было установлено, что на нагрузке менее 60% котел не регулируется, поскольку требуется увеличение избытка воздуха сверх допустимого.

Практическая ценность исследования состоит в поиске оптимальных режимов работы оборудования. Личный вклад автора состоит в моделировании работы котла и пылесистемы, проведении совместных расчетов и анализе результатов.

*И.В. Бакурин, М.С. Кузнецов, Д.И. Коваленко, студенты;
рук. В.В. Попов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ЩЕЛИ ДЛЯ ВЫДУВА ГРЕЮЩЕГО ПАРА НА ПОТОК В СОПЛОВОЙ РЕШЕТКЕ ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Большая часть установленной электрической мощности, как во всем мире, так и в России, вырабатывается паровыми турбинами, рабочими телом которых является перегретый, либо насыщенный водяной пар. Работа турбин в области влажного пара имеет ряд особенностей, в число которых входит эрозионный износ ступеней. Эрозионный износ является опасным процессом, вызывающим снижение экономичности турбины и срока ее службы, а также может стать причиной серьезной аварии.

Одним из основных методов борьбы с эрозионным износом является сепарация влаги, однако данный метод приводит к дополнительным потерям, связанным с отсосом рабочего тела из проточной части турбины. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов может стать комбинация методов обогрева лопатки и выдува пара из щели [1]. Для эффективной работы метода необходимо исследовать влияние угла наклона щели на профильные потери в решетке.

Для проведения расчетов были построены 2D расчетные сетки периферийного сечения сопловой решетки последней ступени ЦНД. Исследовалась лопатка без щели и 6 вариантов щелей с различными углами наклона к образующей линии профиля, где угол варьировался от 15° до 90° с шагом в 15° . Расчеты проводились в стационарной постановке. При моделировании задавался относительный перепад давления на щель 0,64 и температурный напор греющего пара $19,2^\circ\text{C}$.

В ходе обработки расчетных данных получено распределение потерь за выходной кромкой на расстоянии 10% хорды профиля. Анализ этих данных показал, что угол наклона щели не должен превышать 30° . Это обусловлено тем, что щели с углом более 30° вносят значительные возмущения в основной поток, что приводит к увеличению профильных потерь в решетке. Также было рассмотрено влияние выдува пара на расход через решетку.

Дальнейшие расчеты, связанные с поиском оптимальных режимных параметров выдува пара, стоит проводить на щелях с углом наклона не более 30 градусов.

Литература

1. **V.V. Popov, D.I. Kovalenko, I.V. Bakurin and M.S. Kuznetsov**, Design of the Last Stage of a Steam Turbine with a Moisture Removal System: 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, 2024. P. 1–6, doi: 10.1109/REEPE60449.2024.10479940.

Секция 53

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

А.В. Дуб, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ УТОНЕНИЙ И РЕСУРС ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

В условиях увеличения нагрузок на трубопроводные системы, в том числе, в связи с введением в действие энергоблоков электростанций повышенной мощности, исследование влияния гидродинамики потока на развитие утонений и оценку ресурса элементов трубопроводных систем становится достаточно важным. Неправильная оценка этих факторов может привести к снижению надежности и безопасности эксплуатации энергоблоков электростанций.

Целью данной работы было совершенствование существующего подхода к определению ресурса трубопроводных систем с дефектами типа утонений при воздействиях, возникающих вследствие влияния гидродинамики потока жидкости на металл. Используемый в работе метод моделирования позволяет коррелировать процесс утонения металла с особенностями гидродинамики рабочего потока в пристенной области. Исследовано влияние на кинетику утонений как особенностей геометрии самих исследуемых участков трубопроводных систем, так и существующих им по потоку, а также используемых при изготовлении материалов.

Моделирование гидродинамики потока среды проводилось с использованием программного комплекса ANSYS. Личный вклад автора состоит в осуществлении расчетов и анализе данных, полученных в ходе исследования, а также их сравнении с ранее опубликованными результатами теоретических и экспериментальных исследований. На первом этапе выполнения работы был написан скрипт на JavaScript для построения параметризированной модели трубопровода и проведения расчета с использованием МКЭ при рассмотрении двумерного характера течения рабочей среды. Результаты оценки параметров однофазного водного потока, полученные при гидродинамическом моделировании, применяются для определения величин утонений металла и передачи откорректированной геометрии трубопровода на следующий цикл расчета в ANSYS.

Результаты исследований могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации проектирования и эксплуатации трубопроводных систем. Их применение позволит повысить надежность и долговечность элементов рабочего контура электростанций. В перспективе планируется развитие исследований в области оценки влияния гидродинамики потока однофазной (водной) рабочей среды на кинетику утонения и оценку ресурса элементов трубопроводов в 3D постановке.

А.А. Гринев, студ.; рук. В.П. Радин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕКОНСЕРВАТИВНАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ СТЕРЖНЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЯХ

С использованием динамического метода проводится исследование устойчивости упруго закрепленного стержня при действии потенциальной и следящей сил, которым соответствуют параметры $\alpha = Ql^3/EI$ и $\beta = Pl^3/EI$ (рис. 1). Цель исследования — построение границ областей устойчивости на плоскости параметров нагружения при варьировании жесткостей элементов закрепления стержня $\gamma_{1,3} = c_{1,3}l^3/EI$ и $\gamma_2 = c_2l^3/EI$. Добавление линейной пружины со стороны приложения внешних сил приводит к неоднозначному и ранее не наблюдаемому виду некоторых из областей устойчивости. Решение уравнения возмущенного движения представляется в виде разложения по формам собственных колебаний. На основе критерия Рауса-Гурвица формируются достаточные условия для определения границ дивергенции и флаттера. На рис. 2 на плоскости α, β построены границы областей устойчивости (сплошные кривые), прилегающих к началу координат. Здесь при $\gamma_1 = \gamma_2 = 1000$ кривая 1 соответствует $\gamma_3 = 0$, кривая 2 — $\gamma_3 = 30$, кривая 3 — $\gamma_3 = 42$, а прямая штрихпунктирная линия 4 построена для консольного стержня без упругих элементов. Из анализа поведения кривых следует, что упругие закрепления стержня могут, как увеличивать критические значения нагрузок, так и уменьшать их. В дальнейшем задача может использоваться как отправная точка расчёта на устойчивость более сложных конструкций.

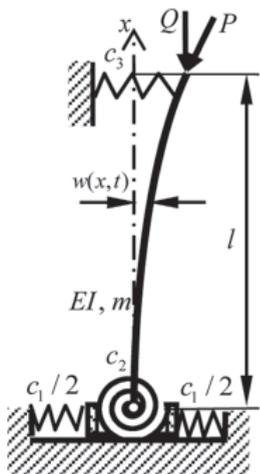


Рис. 1. Расчетная схема

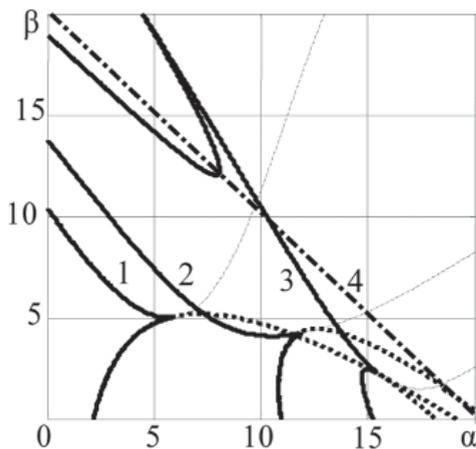


Рис. 2. Границы областей устойчивости

*А.В. Пичахчи, аспирант;
рук. В.А. Сидоров, д.т.н., доцент (ДонНТУ, Донецк)*

ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР СОСТОЯНИЯ

Состояние асинхронного двигателя в процессе эксплуатации характеризуется рядом диагностических симптомов: тепловых вибрационных, токовых. При этом основным показателем нагружения является крутящий момент, для расчёта которого необходимы значения тока, напряжения и частоты вращения. В случае стабильности внешней нагрузки частота вращения двигателя становится пропорциональной потерям на вибрацию и сопротивление трению в подшипниках. Существующие приборные решения позволяют бесконтактно проводить измерение частоты вращения, что позволяет использовать данный симптом в качестве диагностического параметра состояния.

При проведении виброналадочных работ по уравниванию рабочих колёс вентиляторов с приводным двигателем АИР112М2 мощностью 7,5 кВт, номинальной частотой вращения 2950 мин^{-1} сушильных агрегатов ванны для горячего цинкования металла получена зависимость с коэффициентом корреляции $r_{xy} = 0,895$:

$$y = 0,076x^2 - 2,472x + 2912,$$

где y — частота вращения, мин^{-1} ; x — среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с .

После уравнивания частота вращения максимально приблизилась к номинальному значению. Это указывает на снижение крутящего момента и потребляемой мощности. Организация периодического контроля частоты вращения позволила решить вопрос определения времени рационального смазывания подшипников двигателя. Определение диагностических признаков нарушения режима смазывания и корреляция данных признаков с частотой вращения двигателя составили личный вклад автора.

Использование частоты вращения асинхронного двигателя в комплексе диагностических параметров позволяет увеличить количество решаемых задач по контролю и управлению техническим состоянием двигателя, точность диагноза, уточнить модель цифрового двойника. В существующих стационарных системах вибрационного контроля установлены тахометрические датчики. Введение данного симптома в логические блоки диагностирования и экспертные системы расширит перечень распознаваемых неисправностей, таких как: просадки напряжения, неравномерность токовых значений по фазам, изменение значений потребляемой мощности, в дополнение к указанным ранее функциям.

Д.В. Югай, студ.; рук. А.Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО ФАКТОРА НА АНИЗОТРОПИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

При проектировании и выборе материала для изделий и конструкций важно учитывать его механические свойства. При нагружении свойства материала могут существенно отличаться в зависимости от направления, такое явление получило название анизотропия.

Появление анизотропии механических свойств в наплавленных изделиях, полученных методом аддитивного формообразования, главным образом обусловлено особенностями кристаллизации жидкого металла. Направленный теплоотвод из изделия в подложку формирует столбчатую дендритную структуру зерен, вытянутых вдоль направления теплоотвода [1]. Полученная столбчатая текстура может оказывать негативное влияние на эксплуатационные свойства изделия и накладывать ограничения на условия его применения. Именно поэтому изучение данного явления в наплавленных изделиях становится важной задачей в условиях современного производства.

В данной работе производится оценка характеристик твердости изделия из титанового сплава ПТ-3В, полученного методом электронно-лучевого формообразования. Для исследований из наплавленных заготовок вырезаны и подготовлены образцы-микрошлифы с целью измерения твердости в различных направлениях и выявления анизотропии механических свойств. В результате работы для полноценного анализа механических свойств наплавленных изделий, обладающих текстурированностью [2], значения твердости сопоставлены со значениями прочностных характеристик, которые получены при испытаниях растяжением образцов, также вырезанных в различных направлениях.

Перспективой данной работы является выявление закономерностей анизотропии в наплавленных изделиях, полученных методом аддитивных технологий, и обоснование влияния структурного фактора на это явление. Результаты работы можно использовать при подборе оптимальных режимов аддитивного формообразования.

Литература

1. **Щербаков А.В. и др.** Электронно-лучевая технология аддитивного формообразования с подачей присадочной проволоки: монография. М.: МЭИ, 2020.
2. **Гольцев В.Ю.** Методы механических испытаний и механические свойства материалов: учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012.

А.А. Фомин, студ.; рук. П.Ю. Петров, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ (WAAM) ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Современная промышленность нуждается в разработке высокотехнологичных методов для производства металлических изделий сложной формы с минимальными затратами [1]. Достаточно актуальна данная проблема стоит в авиастроении, где требуется создание габаритных, прочных и легких деталей. Одним из технологических методов создания прочных деталей сложного профиля является технология аддитивной дуговой наплавки (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM), которая позволяет за счет эффективного использования материалов сокращать себестоимость продукции и улучшать эксплуатационные свойства изделий [2]. Это делает применение 3D-печати дуговой наплавкой привлекательной для массового производства компонентов летательных аппаратов, однако для каждого изделия необходима отработка режимов наплавки.

Определение режимов WAAM-наплавки проводилось для печати водило вертолётного двигателя из сварочной проволоки ЭП410 (отечественный аналог СВ-08Х15Н5Д2Т-Ш) диаметром 1,2 мм в аргоне. Для поиска оптимального режима наплавки варьировались: сварочный ток ($I_{св}$) в интервале 110 ... 235 А, напряжение на дуге (U_d) — 12,8 ... 18,8 В, скорость подачи проволоки ($V_{пп}$) — 4 ... 8 м/мин и скорость сварки ($V_{св}$) — 400 ... 800 мм/мин. В результате экспериментов, проведенных с участием автора, определены оптимальные режимы наплавки ($I_{св} = 200 \dots 230$ А, $U_d = 14,3$ В, $V_{пп} = 8$ м/мин, $V_{св} = 600$ мм/мин), обеспечивающие оптимальное сочетание прочности ($\sigma = 1250 \dots 1290$ МПа), ударной вязкости ($KCU = 119 \dots 132$ Дж/см²) и минимального количества пор.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации режимов аддитивной наплавки при внедрении технологии WAAM в таких отраслях, как машиностроение, судостроение, энергетика, авиастроение и других. Экспериментально определённые режимы 3D-печати обеспечивают надежность и долговечность изделий. В перспективе планируется доработка технологии для печати изделий из других сплавов с улучшенными характеристиками.

Литература

1. **Тран М.У., Фам С.М., Ван Т.Н. и др.** Влияние стратегии траектории на характеристики материала в методе WAAM. Факультет машиностроения, Промышленный университет Хошмина, Вьетнам. 2023 г.
2. **Щербаков А.В., Гапонова Д.А., Слива А.П. и др.;** ред. Григорьянц А.Г., Драгунов В.К. Аддитивные технологии в производстве металлических конструкций / учеб. для вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2022.

*С.Р. Пшеничнов, студент;
рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКЕ ОБОБЩЕННОГО ЗАКОНА ГУКА

Состояние вопроса. Обобщенный закон Гука (1) выведен из современных представлений о молекулярном строении тел и теоретически доказан [1]:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (1)$$

где σ_{ij} — компоненты тензора напряжения, ε_{kl} — компоненты тензора деформации, c_{ijkl} — константы. Состоятельность закона (1) выясняется по результатам опытов на растяжение и сжатие стержней. Здесь критерием служит решение соответствующей краевой задачи на основе (1) и общего принципа Сен-Венана. В связи с этим отклонения опытных данных от критерия могут иметь место из-за несостоятельности или закона (1), или принципа.

Актуальность. Для непосредственной экспериментальной проверки обобщенного закона Гука (1) необходимо измерить компоненты тензора напряжения σ_{ij} и тензора деформации ε_{kl} во внутренних точках и, частично, на поверхности испытуемого тела. Трудности в их определении [2] исключают непосредственную проверку указанного закона (1). Такую проверку невозможно осуществить даже при упрощении тела до изотропного вида, для которого соотношения (1) приобретают вид (2), где количество констант сокращено до двух:

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon_{kk} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

где δ_{ij} — символ Кронекера, λ, μ — константы Ламе.

Новизна. На основе закона Гука (1) для осевого растяжения-сжатия сплошных цилиндров баз влияния гипотезы об одноосности напряженного состояния косвенным путем выведен критерий, в котором фигурируют только измеряемые в опытах величины [3].

Личный вклад. На основе нового критерия методом наименьших квадратов определены константы материала и составлена компьютерная программа в системе MathCad. Полученные результаты будут использованы для определения компонент напряженно-деформированного состояния при непосредственной проверке обобщенного закона Гука для испытуемых цилиндрических тел из различных материалов.

Литература

1. **Борн М., Хуан Кунь.** Динамическая теория кристаллических решеток. М.: Иностранная литература, 1958.
2. **Демидов С.П.** Теория упругости. М.: Высшая школа, 1979.
3. **Жакыпбеков А.Б., Дуйшеналиев Т.Б.** Уравнение диаграмм нагрузка-деформация // Математический журнал. 2004. Т. 4. № 3(13).

И.А. Подобедов, студ.; рук. А.А. Шипков, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ БАШЕННОГО ТИПА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНЫ НАГРУЗОК, ПЕРЕДАВАЕМЫХ НА ФУНДАМЕНТ

В настоящее время ветроэнергетические установки (ВЭУ) широко используются для производства экологически чистой энергии, что заставляет более подробно исследовать особенности, связанные с их проектированием и эксплуатацией. При этом вопросы разработки механических моделей ВЭУ и ее элементов остаются актуальными, в том числе, в связи с активной разработкой новых типов ветроустановок и интенсивным развитием этой области энергетики в России.

Для расчета на прочность ветроэнергетической установки и ее элементов широко используются специализированные программные комплексы (ПК), применяются требования нормативных документов (НД) и рекомендательные подходы, описанные в профильной литературе. Так, в [1] содержатся требования, предъявляемые к модели ветровой нагрузки, которые необходимо использовать при расчетах элементов ВЭУ, при этом отмечается, что механическая модель конструкции ветрогенератора должна учитывать динамический характер воздействий. Руководствуясь [2] при построении расчетной модели оценки нагрузок ВЭУ необходимо иметь сведения о величинах аэродинамических коэффициентов, которые зависят от вида профиля лопасти, угла наклона направления ветра по отношению к лопастям ветроколеса и др.

В данной работе учет влияния ветровых нагрузок на элементы ВЭУ проводился с помощью специализированного ПК QBlade. Выполнен анализ воздействия турбулентного воздушного потока, приводящего к возникновению динамических нагрузок на лопасти и башню ветроустановки, а также влияния аэродинамики ВЭУ на величины нагрузок, передаваемых на фундамент. Рассмотрены особенности учета требований, определенных НД при проведении расчетов в ПК QBlade. Результаты, полученные в работе, могут быть полезны при рассмотрении вопросов, связанных с проектированием ВЭУ и оценкой прочности ее отдельных элементов.

Литература

1. **ГОСТ Р 54418.1-2023.** Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования. — Москва, 2023.
2. **СНиП 2.01.07-85*.** Нагрузки и воздействия. — М.: ФГУП ЦПП, 2005.

К.И. Романов, студ.; рук. А.А. Шипков, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ СТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Современное проектирование машиностроительных сооружений всё чаще накладывает требования по уменьшению их веса при обеспечении необходимой прочности, что приводит, в том числе к более активному применению тонкостенных металлических конструкций. Такие строительные объекты широко используются в энергетике, транспортной инженерии и др. Для определения параметров напряженно-деформированного состояния в тонкостенных конструктивных элементах, в том числе используются программные комплексы, в основе которых лежит метод конечных элементов (МКЭ) [1].

МКЭ позволяет проводить численные расчеты объектов различного назначения, но точность его применения может существенно зависеть от выбора параметров сетки: типа, размера, формы элементов и др. характеристик.

В работе исследована зависимость точности результатов расчетов напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, изготовленных из тонкостенных открытого профиля, от различных параметров конечно-элементной модели. Проведено сравнение аналитического решения, найденного по теории В.З. Власова, с результатами расчетов, полученными в современных программных комплексах: CAE Fidesys, StarkES и Ansys в случае использования моделей балочных тонкостенных элементов, позволяющих определять величины возникающих бимоментов и в трехмерной постановке. Выполнен анализ влияния параметров сетки на распределение напряжений и перемещений. Исследовано влияние тонкостенности профиля на результаты определения напряженно-деформированного состояния в различных программных комплексах.

Полученные результаты могут быть использованы при выполнении расчетов строительных конструкций, содержащих тонкостенные стержни, при выборе и оптимизации параметров конечно-элементной сетки таких моделей.

Литература

1. Ю.А. Сагдеева, С.П. Копысов, А.К. Новиков. Методическое пособие «Введение в метод конечных элементов», 2011.

А.В. Киселев, асп.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ АМОРТИЗАТОРА ШАССИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Цель исследования — определение оптимальных параметров конструкции пневмогидравлического амортизатора шасси (рис. 1) для поглощения посадочного удара при помощи генетического алгоритма поисковой оптимизации.

Задачи исследования:

- построение нелинейной динамической модели пневмогидравлического амортизатора шасси;
- определение основных проектных параметров амортизатора, влияющих на его работу;
- определения критериев эффективной работы амортизатора для построения целевых функций;
- моделирование процесса посадки амортизатора с подвешенным грузом;

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью разработки методики для проектирования виброударозащитных систем летательных аппаратов.

Новизна проведенных исследований состоит в применении генетического алгоритма для оптимизации параметров нелинейной динамической системы, такой как пневмогидравлический амортизатор шасси летательного аппарата

Исследование проведено с использованием расчетного комплекса Siemcenter Amesim. Модели могут быть применены для создания «цифровых двойников» реальных физических конструкций и для определения их модельных параметров из результатов натурных испытаний.

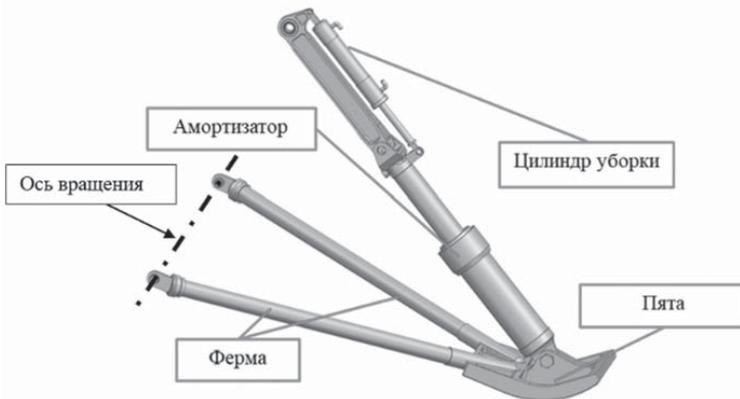


Рис. 1. Конструкция шасси с амортизатором

Е.А. Лепшеев, студ.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНО-АРМИРОВАННОГО ТРУБОПРОВОДА

Цель исследования — разработка компьютерной модели линейного участка полимерно-армированного трубопровода (ПАТ) для оценки прочности и надежности при действии эксплуатационных и природных нагрузок и воздействий.

Задачи исследования:

- формирование перечня исходных данных для разработки компьютерных моделей и моделирования сценарных условий состояния трубопровода на основе проектной и нормативной документации [1–3];
- анализ существующей проектной и технической документации по требованиям к прочностным расчетам ПАТ;
- аналитическая оценка НДС полимерно-армированной трубы от проектных нагрузок;
- разработка компьютерных моделей заданных конструкций ПАТ в программных комплексах ANSYS, FIDESYS, STARKON и выполнение прочностных расчетов в этих программных комплексах в соответствии с проектными нагрузками и сценарными режимами;
- верификация и валидация компьютерных моделей с аналитическими решениями и результатами лабораторных и натурных испытаний;
- обоснование соответствия физической и компьютерных моделей;
- определение предельных нагрузок на конструкцию ПАТ.

Актуальность настоящей работы обусловлена коммерческим интересом — заказом со стороны ООО «КЧНГ», по расчету ПАТ в эксплуатации, как ответственного элемента трубопроводного транспорта нефтесодержащей продукции от скважин до пунктов приема-сдачи ПАО «НК «Роснефть».

Новизна проведенных исследований состоит в разработке конечно-элементной модели трубопровода в различных программных комплексах для заданных условий Русско-Реченского месторождения ООО «КЧНГ».

Исследование проведено с использованием программных комплексов ANSYS, FIDESYS, STARKON.

Литература

1. ГОСТ Р 55990-2014 «Месторождения трубопроводы. Нормы проектирования».
2. ГОСТ Р 59834-2021 «Промысловые трубопроводы. Трубы гибкие и соединительные детали к ним. Общие технические условия».
3. ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».

С.В. Попиль, асп.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ УТОНЕНИЙ СТенок ТРУБОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА НАПРЯЖЁННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА

Системы трубопроводов играют критическую роль в работе энергетических объектов. Обеспечение надежности и безопасности их эксплуатации остаётся важной научно-технической задачей. На этапе строительства и монтажа трубопроводных коммуникаций на АЭС инвестиционные затраты относительно невелики — около 10% от общей стоимости проекта [1]. Однако потенциальные риски повреждений отдельных участков могут иметь серьёзные последствия, включая снижение производительности или полную остановку энергетических блоков. Научное сообщество уделяет значительное внимание разработке нормативных документов и методик оценки технического состояния трубопроводов, особенно участков с признаками утонения [2]. При этом в качестве схематизаций моделей утонения широко применяются сферические, эллипсоидальные и др. идеализированной формы.

Для проведения численного эксперимента в CAD среде создана программа автоматической генерации параметрической твердотельной модели с локальным утонением, для последующего анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов.

Научная новизна работы состоит в исследовании кинетики процесса развития утонения стенки трубопровода и влияния формы поверхности, при ее схематизации в виде, приближенном фактическому, на особенности напряженно-деформированного состояния. Рассмотрены различные формы утонений стенок трубопроводов, которым подвержены участки за характерными изменениями трассировки (гибы, тройники, отводы и т.д.). Произведено сопоставление полученных результатов с моделями при использовании идеализированных форм утонений металла.

Результаты, полученные в ходе данного анализа можно использовать для дальнейшей разработки теории оценки на прочность трубопроводов, содержащих эксплуатационные дефекты.

Литература

1. **G.S. Fontes, P.F. Frutuoso e Melo, A.S. De Martin Alves.** An Ito model of pit corrosion in pipelines for evaluating risk-informed decision making. *Nuclear Engineering and Design journal* 293 (2015). P:485–491.
2. **Roohollah Heidary, Katarina M. Groth.** A hybrid population-based degradation model for pipeline pitting corrosion. *Reliability Engineering and System Safety journal* 214 (2021).

А.П. Михеев, студ.; А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

При эксплуатации энергоблоков электростанций неизбежно происходит развитие различных механизмов деградации металла (МДМ), вследствие воздействия на него потоков рабочих сред, которое приводит к снижению надежности работы оборудования и трубопроводов. Задача обеспечения целостности оборудования и трубопроводов особенно актуальна для энергоблоков со значительной нагрузкой, а также электростанций, переведенных на сверхноминальные мощности эксплуатации.

Скорость развития МДМ определяется величинами влияющих факторов, к которым, в том числе, относятся характеристики рабочей среды: давление, температура, скорость движения потока, степень влажности пара, а также параметры водно-химического режима (значения рН, концентрации кислорода и др.).

В работе был проведен расчет локальных характеристик рабочей среды по контуру электростанций и выполнен анализ влияния повышения мощности энергоблоков на изменение условий функционирования оборудования и трубопроводов.

Для оценки чувствительности влияния изменений характеристик рабочей среды на скорость развития МДМ, были использованы модели развития трещин коррозионной усталости, коррозионного растрескивания под напряжением [1], а также механизмов утонения металла [2]. В работе продемонстрировано, что вследствие разнонаправленных тенденций зависимостей скоростей развития дефектов от влияющих параметров, МДМ для определенного оборудования и отдельных линий трубопроводов, как могут становиться более интенсивными, так и ослабевать при переводе энергоблоков на сверхноминальные мощности эксплуатации. Выполнена оценка влияния развития МДМ на прочность элементов рабочего контура.

Полученные результаты могут быть использованы при выполнении работ, направленных на повышение безопасности и эффективности эксплуатации электростанций, оптимизацию затрат на диагностику.

Литература

1. **Болотин В.В., Шипков А.А.** Модель роста усталостных трещин с учетом факторов окружающей среды // ПММ, т. 62, вып. 2, 1998.
2. **Томаров Г.В., Шипков А.А.** Моделирование физико-химических процессов эрозии-коррозии металлов в двухфазных потоках // Теплоэнергетика, № 7, 2002.

Н.В. Лаврик, студ.; рук. А.Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА НА СТОЙКОСТЬ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ К МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ

Легированные хромоникелевые стали аустенитного класса обладают высокой стойкостью против коррозии в атмосферных условиях, а также в некоторых агрессивных средах. Вместе с тем, при определённых условиях некоторые аустенитные коррозионно-стойкие стали становятся чувствительными к другому виду коррозии — межкристаллитной (МКК). Особенно чувствительными к МКК являются нестабилизированные аустенитные стали, подвергавшиеся нагреву до высокой температуры. Значения температур нагрева, при которых сталь становится чувствительной к МКК (т.е. происходит сенсibilизация материала), зависит от её химического состава и параметров микроструктуры [1].

Цель исследования состоит в изучении влияния времени высокотемпературной выдержки на склонность аустенитных сталей к МКК, и определение температурно-временных условий начала сенсibilизации материала. Исследовались хромоникелевые стали, которые подвергали выдержке при высоких температурах (600°C и выше) в течение разных интервалов времени, что имитировало их длительную высокотемпературную эксплуатацию или возможный перегрев при работе. Затем с помощью металлографических исследований и механических испытаний оценивали стойкость материала к МКК, что позволяло сделать вывод о переходе металла в сенсibilизированное состояние.

Личный вклад автора заключается в выборе материалов для исследования, проведении экспериментов и анализе результатов.

Новизна и практическая значимость исследования заключается в выявлении конкретных зависимостей стойкости аустенитных сталей против МКК от времени их выдержки или эксплуатации при высоких температурах, что позволяет установить критические временные интервалы, при которых металл становится склонным к МКК.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка методики обнаружения процессов сенсibilизации и образования межкристаллитной коррозии в аустенитных сталях методом акустической эмиссии» (договор № ПНИ-24/26-34) при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. Меркушкин Е.А., Березовская В.В., Сомина С.В. Межкристаллитная коррозия сталей. Екатеринбург: УрФУ, 2020.

Секция 54

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

П.Д. Сионов, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н.; (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТЛАДКИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В SIMINTECH

Мобильные роботы — это способные перемещаться автоматические устройства. Они широко используются во многих сферах человеческой деятельности: науке, медицине, промышленности, логистике и т.д.

Способ симуляции является одним из самых распространённых способов отладки алгоритмов управления, т.к. он заключается в использовании симуляторов, которые моделируют поведение робота в виртуальной среде. Этот метод ещё называют имитационным моделированием. Он позволяет проводить отладку алгоритмов управления без риска причинения ущерба модели, конструкции, роботу и человеку, а также экономит ресурсы. В работе будет использована среда динамического моделирования SimInTech. SimInTech (Simulation In Technic) — российская система модельно-ориентированного проектирования систем автоматического управления.

Рассматривается двухколёсный мобильный робот с независимыми приводами, управляющими скоростью движения колёс. Были получены уравнения динамики и кинематики робота [1]. Алгоритмы управления построены на основе обратной связи по угловым скоростям колес [2].

По результатам моделирования для некоторых движений робота получены траектория одной из точек робота, а также графики параметров, характеризующие боковые отклонения аппарата от программного движения. На основе полученных графиков сделан вывод, что алгоритм управления работает корректно, так как боковое отклонение робота с течением времени компенсируется. Была проведена отладка алгоритмов управления при использовании различных коэффициентов обратной связи.

Литература

1. **Марченко К.П., Коновалов К.В., Ершов С.Д., Авс А., Язан В.** Разработка математической модели кинематики и динамики колесного дифференциального робота // Научный аспект. — 2021. — Т. 3, № 1. — С. 277–293.
2. **Адамов Б. И.** Асимптотический алгоритм погони для мобильного робота // Навигация и управление движением: Материалы XVII конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–20 марта 2015 года. — С. 516–524.

А.М. Мохамед, студ.; рук. Г.Р. Сайпулаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ ЧЕТВЕРОНОГОГО РОБОТА ПРИ ПОВОРОТНЫХ ДВИЖЕНИЯХ ЕГО КОРПУСА

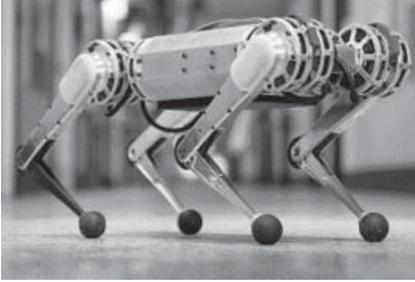


Рис. 1. Четвероногий робот Mini Cheetah

Для решения задач наблюдения и исследования территорий представляется перспективным использование шагающих мобильных роботов [1]. Примером таких роботов является четвероногий робот Mini Cheetah (см. рис. 1). Конструкция рассматриваемых аппаратов включает платформу, связанную с четырьмя ногами. Каждая из ног представлена трехзвенным механизмом. Одним из важных аспектов проектирования роботов шагающего типа является разработка конструкции их ног [2, 3].

Целью работы является создание кинематической модели четвероного робота на примере Mini Cheetah, представленного на рис.1, и выработка предложений по планированию движений звеньев его ног, обеспечивающих поворот корпуса вокруг различных осей.

Построены уравнения кинематики движения четвероного робота при учете отсутствия проскальзывания между точками контакта ног и опорной плоскости. Предложен план перемещения концевых точек ног при поворотных движениях платформы по углам крена, тангажа и курса.

Проведенное численное моделирование движения робота подтвердило возможность осуществления периодических движений при предложенном плане перемещений ног. По результатам моделирования отмечено, что зависимости углов поворота звеньев ног являются периодическими функциями, и рассмотренные поворотные движения платформы робота могут происходить без возникновения сингулярных конфигураций.

Литература

1. **Павловский В.Е.** О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2013. — № 101. — С. 1–32.
2. **Taheri H., Mozayani N.** A study on quadruped mobile robot // Mechanism and Machine Theory. — 2023. — № 190. — Article ID 105448.
3. **Chai H.** A survey of the development of quadruped robots: Joint configuration, dynamic locomotion control method and mobile manipulation approach / H. Chai, Y. Li, R. Song, G. Zhang, Q. Zhang, S. Liu, J. Hou, Y. Xin, M. Yuan, G. Zhang, Z. Yang // Biomimetic Intelligence and Robotics. — 2021. — Vol. 2. — № 2. — Article ID 100029.

Д.А. Шлемин, студ.; рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОГРУЖНОЙ ВИНТ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОЙ МАЛОРАЗМЕРНОЙ НАДВОДНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Беспилотная надводная платформа (БНП) легкого класса является инновационным решением для различных сфер [1] человеческой деятельности, таких как мониторинг экосистем, охрана границ, транспортировка грузов. Также платформа может быть полезна для аварийно-спасательных служб. Разработка подобных устройств требует решения проблем в области робототехники, мехатроники, судостроения.

Ключевыми параметрами беспилотной платформы являются маневренность и скорость. Винт — движитель любого судна, его важнейшая часть. От типа лопастей, их шага и размера напрямую зависят динамические характеристики надводной платформы [2]. Ставится задача разработки проекта и изготовления погружного винта для прототипа БНП, которая представляет собой особый вид тримарана длиной 55 см, с бесколлекторным электродвигателем мощностью 2.5 кВт. Теоретическая планируемая скорость 60 км/ч при оборотах на валу двигателя 22000 об/мин.

С помощью программного обеспечения SOLIDWORKS 3D CAD создана компьютерная модель винта (рис. 1). Проведены расчеты на прочность винта в водной среде. В качестве предполагаемого материала был принят алюминий марки Д16Т. Затем по разработанной компьютерной модели на 3D фрезерном станке с ЧПУ был изготовлен реальный винт из того же сплава, что и в расчете.

Для проверки теории созданный винт был установлен на беспилотную надводную платформу. В ходе опытных испытаний достигнуты расчётные характеристики БНП, такие как средняя скорость и маневренность.



Рис. 1. Модель винта

Литература

1. **Jimenez Lopez J., Mulero-Pazmany M.** Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future. — 2019; — DOI: 10.3390/drones3010010
2. **Kishore M.L.P., Singh V.K., Behra R.K., Saran C.S., Paswan M., Kumar K.** Hydrodynamic characteristics of marine composite propeller blade using a numerical approach. — 2021; — DOI: 10.11591/ijaas.v10.i1.pp.20–27.

*Н.А. Сибирцев, А.С. Казаринова, студ;
рук. Г.Р. Сайпулаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПАССИВНОГО ПРОТЕЗА СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА С ПРУЖИННОЙ СИСТЕМОЙ СГИБА ЧАСТЕЙ

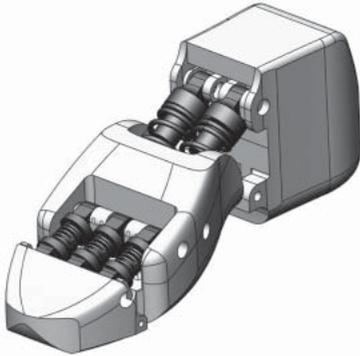


Рис. 1. Разрабатываемый протез

зов суставов. Причиной появления таких нежелательных явлений является ходьба на протезе нижней конечности, сопровождающаяся ударной нагрузкой на искусственную стопу.

В данной работе представлены результаты проектирования протеза, имеющего систему помощи при ходьбе за счет применения пружин, для человека с ампутацией голеностопа. Протез даёт возможность пользователю осуществлять походку, идентичную человеческой, и сглаживать переходы между движениями предплюсны, плюсны и фаланг.

Создана 3D модель протеза (см. рис. 1.) в системе автоматизированного проектирования SolidWorks. Проведены расчеты на прочность, жесткость и текучесть для элементов пружины. Построена математическая модель протеза.

Литература

1. **Борисов И.М., Резник С.В.** Разработка композитной конструкции биомеханического назначения // Вестник университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. — 2021. — Т. 22 № 4. — С. 348–354.
2. **Буров, Г.Н., Смирнова Л.М., Большаков В.А., Янковский В.М., Белянин О.Л.** К выбору амортизационных элементов искусственной стопы // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье. — 2023. — № 13(3). — С. 150–157.

А.А. Демидов, студ.; рук. Г.Р. Сайпулаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОМНИ-ПЛАТФОРМЫ, БАЛАНСИРУЮЩЕЙ НА СФЕРИЧЕСКОМ КОЛЕСЕ

В настоящее время существует множество работ, посвященных исследованию и разработке роботов, осуществляющих всенаправленное движение [1, 2]. Одним из таких роботов является Ballbot (шаробот) — платформа, оснащенная омни-колесами, балансирующая на сферическом колесе. Пример робота Ballbot с закрепленным на омни-платформе манипулятором, разработанный компанией Festo, представлен на рис. 1. Для синтеза законов управления движением робота необходимо разработать математические модели его кинематики и динамики.

В работе рассматривается Ballbot, платформа которого опирается на сферическое колесо тремя омни-колесами. Манипулятор в процессе движения робота неподвижен относительно платформы. Целью работы является построение модели пространственной динамики омни-платформы, балансирующей на сферическом колесе.

Приняты следующие допущения: используется упрощенная модель омни-колес [1]; точки контакта омни-колес со сферическим колесом могут проскальзывать в направлении перпендикулярном плоскости омни-колес; безотрывное движение сферического колеса по горизонтальной плоскости описывается моделью качения шара без проскальзывания. Рассмотрены простые движения шаробота и найдены управления, реализующие эти движения.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка программного обеспечения и систем управления движением новых мобильных роботов, оснащенных сферическими колесами и омни-колесами» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.



Рис. 1. Ballbot компании Festo

Литература

1. **BorISOV A.V., Kilin A.A., Mamaev I.S.** An omni-wheel vehicle on a plane and a sphere // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. — 2011. — Vol. 7, No. 4. — P. 785–801. DOI: 10.20537/nd1104004
2. **Сайпулаев Г.Р., Сайпулаев М.Р., Семенякина Е.С., Снегирев И.С., Демидов А.А.** Неголономная кинематика мобильной омни-платформы, балансирующей на сферическом колесе // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2024. — № 28. — С. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-28-9-17>

А. Абалимов, студ.; рук. Г.Р. Сайпулаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО РОБОТА, ОСНАЩЕННОГО СИСТЕМОЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

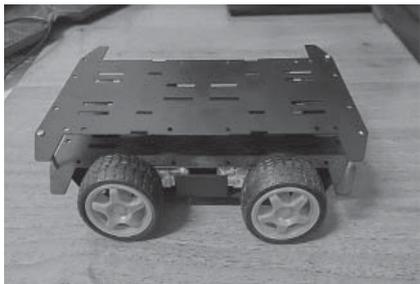


Рис. 1. Шасси разрабатываемого робота

В современном мире широко применяются роботизированные системы при охране и наблюдении за состоянием промышленных предприятий. В [1–3] представлены некоторые подходы к разработке мобильных роботов с функцией распознавания лиц с использованием как аппаратных, так и программных компонент.

Целью работы является создание прототипа четырехколесного робота и программного обеспечения для управления движением робота, а также функционирования системы распознавания лиц.

В прототипе робота рис. 1 используются два контроллера ESP32cam. Один контроллер применяется для обеспечения движения платформы и поворота камеры, а второй — для передачи изображения, фиксируемого камерой, на компьютер с целью последующей обработки в режиме реального времени. Передача изображения происходит согласно протоколу Wi-Fi. По результатам обработки изображения с камеры на робот подаются команды для последующего движения робота.

Программа управления движением робота написана на языке C++. Программное обеспечение, решающее задачу распознавания лиц методами машинного зрения, разработано на языке Python.

Литература

1. **Ульянов С.В., Решетников А.Г., Кошелев К.В.** Разработка системы распознавания образов для мобильного робота // Системный анализ в науке и образовании. — 2016. — № 4. — С. 22–31.
2. **Ульянов С.В., Решетников А.Г., Кошелев К.В.** Разработка системы стереозрения для мобильного робота // Системный анализ в науке и образовании. — 2017. — Т. 30, № 3. — С. 435–438.
3. **Козинцев П.А.** Разработка программно-технического комплекса распознавания лиц на основе платформы Arduino // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем». — 2018. — С. 208.

Д.В. Гречко, студ.;
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЦЕПОЧКИ КОЛЕСНЫХ РОБОТОВ

Работа посвящена исследованию кинематики и динамики цепочки колёсных роботов. Такие роботы также называются змееподобными. Они могут быть использованы при исследовании труднодоступных мест, в спасательных операциях и в военных целях.

В работе рассматривается цепочка из двух одинаковых звеньев, осесимметричных двухколёсных управляемых «тележек» (рис. 1). На рис. 1 C_1 и C_2 — центры масс тележек, точка B — цилиндрический шарнир, связывающий тележки, точки A_1 и A_2 — середины осей колёс. Колёса считаются безынерционными.

Положение системы определяется координатами точки C_1 и углами φ_1 , φ_2 , задающими ориентацию тележек относительно неподвижной системы координат OXY . Считается, что проскальзывание колес относительно подстилающей плоскости отсутствует. Управление движением осуществляется за счет двигателей, вращающих колёса.

Подобная система исследуется в [1]. В данной работе в отличие от [1] ограничения на геометрические параметры тележек менее жёсткие, полученные уравнения связи между кинематическими параметрами тележек имеют более общий характер.

Вывод уравнений динамики системы выполнялся с использованием общих теорем. Полученная замкнутая система уравнений позволила построить для некоторых частных случаев движения траектории центров масс тележек, определить управляющие моменты двигателей, обеспечивающие заданные движения, найти силы реакции в точках контакта колес с плоскостью.

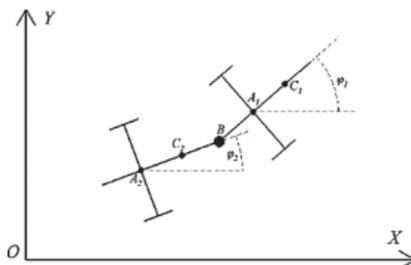


Рис. 1. Модель цепочки тележек

Литература

1. Павловский В.Е., Петровская Н.В. Исследование динамики движения цепочки «робопоезд». Уравнения движения, частные решения. Препринт ИПМ им М.В. Келдыша РАН, № 117, 2005, 31 с.
2. Буданов В.М., Девянин Е.А. О движении колёсных роботов // ПИММ. — 2003. — Т. 67. вып. 2. — С. 244–255.

*Н.Д. Толмачёв, студ.; В.В. Замашкин, В. Дони, асп.;
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЬНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

В последние десятилетия экзоскелеты всё активнее применяются в различных сферах, способствуя улучшению физической работоспособности человека и восстановлению его двигательных функций. Современные исследования экзоскелетных роботов [1] предлагают новые схемы проектирования, направленные на повышение комфорта. Выделяется модульный принцип проектирования, при котором, отдельные части могут быть независимо разработаны, заменены или улучшены. В данной работе построена кинематическая модель такого экзоскелета верхних конечностей по алгоритму Деннавита-Хартенберга.

Предполагается, что диапазоны вращения элементов конечностей соответствует стандартам [2], включая сгибание и разгибание плеча от 158° до -37° , его приведение и отведение от 93° до 50° , а также сгибание и разгибание предплечья от 0 до 143° , его боковое вращение от 80° при пронации, до -87° при супинации. Расчёты проводились для высокого человека ростом 190 см, согласно современным представлениям о пропорциях человека [3] соотношение длины руки к росту человека было выбрано как $3:8$, а предплечья — $1:6$.

Построена рабочая область манипулятора и его упрощённая 3D-модель. Представлено решение прямой задачи о положениях и результаты моделирования произвольной траектории в сечении сагиттальной плоскости для точки на ладони руки. Модель руки имеет шесть степеней свободы, соответствующих углам поворота плеча, предплечья и кисти. Представлено численное решение дифференциальных уравнений кинематики, включая построение матрицы Якоби и визуализацию движения точки в математическом пакете Wolfram Mathematica.

В дальнейшем предполагается разработка динамической модели конструкции, подбор двигателей и комплектующих.

Литература

1. **Chen L., Zhou D., Leng Y.** Systematic Review on Rigid Exoskeleton Robot Design for Wearing Comfort: Joint Self-Alignment, Attachment Interface, and Structure Customization // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2024. vol 32.
2. Man-Systems Integration Standarts Volume I, Section 3 ANTHROPOMETRY AND BIOMECHANICS. — URL: <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm> (дата обращения 24.11.2024).
3. **Львова Е.В.** Пластическая анатомия: Учебное пособие. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. — 115 с.

*Н.Д. Толмачёв, студ.; В.В. Замашкин, В. Дони, асп.;
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ГИДРОСИСТЕМЫ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

В данной работе представлены результаты разработки экзоскелета верхних конечностей, состоящего из нескольких модулей. Для исполнительной части данного робота спроектирована гидросистема таким образом, чтобы гидроцилиндр обеспечивал дозированную нагрузку в диапазоне 0–100 Н в соответствии с требованиями [1] для плечевого сустава, а гидродвигатель был способен выдерживать крутящий момент до 40 Нм. на всей траектории движения. Требования основаны на экстремальных значениях диаграммы нагрузки, полученных в ходе динамического моделирования [2] аналогичного робота.

Были подготовлены функциональная схема и принципиальная гидравлическая схема привода для двух исполнительных устройств, одно из которых реализует поступательное движение звеньев экзоскелета, а второе — вращательное. Составлена временная циклограмма работы для гидросистемы. По алгоритмам расчёта параметров [3] определены основные требуемые характеристики гидродвигателей: объёмные постоянные гидромоторов и неполноповоротных гидродвигателей, площади, диаметры поршней и штоков для гидроцилиндров, также рассчитаны величины проходных отверстий дросселирующих аппаратов, которые обеспечивают необходимые скорости перемещений выходных звеньев гидродвигателей. Построена циклограмма потребных расходов гидродвигателей, по которой определена необходимая подача насоса, а также необходимый объём бака гидросистемы.

Дальнейшая разработка экзоскелета будет сосредоточена на оптимизации его схемы. Также будет проведена оценка эффективности использования гидропривода для последующего принятия решения о выборе его модели.

Литература

1. **ГОСТ Р 51260-2017** Тренажеры реабилитационные. Общие технические требования— М.: Стандартиформ, 2017. — 23 с.
2. **Xie Q., Meng Q., et al.**, Human-Exoskeleton Coupling Dynamics of a Multi-Mode Therapeutic Exoskeleton for Upper Limb Rehabilitation Training // IEEE Access. 2021. vol. 9. № 6.
3. **Зуев Ю.Ю.** Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств. Часть первая. Машинно-аппаратная база, принципиальные схемы и расчёт параметров гидропневмоприводов в силовых системах цикловой автоматики мехатронных и робототехнических устройств. Уч. пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2019.

Ю.К. Стручков, асп.; рук. А.С. Степанов, к.т.н.
(ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», Москва)

ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЙ ЛЕПЕСТКОВ МНОГОЛЕПЕСТКОВОГО КОЛЛИМАТОРА

Многолепестковый коллиматор (МЛК) является составной частью комплекса фотонной дистанционной лучевой терапии. Во время проведения сеанса лучевой терапии система перемещения источника и коллиматора (*Gantry*) вращается вокруг пациента, при этом изменяется мощность дозы излучения, а вольфрамовые лепестки (количество варьируется от 80 до 160) формируют дозовое распределение согласно индивидуальному плану лучевого лечения [1].

Лепесток перемещается благодаря индивидуальному приводу. Таким образом МЛК представляет из себя устройство с числом степеней свободы равным числу лепестков. При этом все лепестки могут перемещаться одновременно со скоростями порядка 20–40 мм/с в достаточно широком диапазоне (порядка 100 мм) [1].

Точность позиционирования лепестков современных МЛК комплексов также довольно высокая — порядка десятых долей мм [1]. При этом лепестки расположены вплотную друг к другу для минимизации межлепестковых утечек. Такая компоновка создает дополнительные ограничения для размещения датчиков положения лепестков — потенциометров и энкодеров. Для решения задачи позиционирования нередко применяются системы технического зрения, как, например, в МЛК Elekta Agility [1].

В данной работе представлен макет МЛК. Разработан прототип системы технического зрения для определения положения лепестков МЛК. Описан алгоритм определения положений лепестков по их изображению и продемонстрирована его работоспособность. С помощью координатно-измерительной машины FARO EDGE ARM [2] проведена оценка точности разработанного прототипа системы технического зрения.

Литература

1. **Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C.** Handbook of radiotherapy physics. Theory and practice. — Taylor & Francis Group, LCC, 2007.
2. **8-Axis Edge FaroArm & ScanArm.** [Электронный ресурс], URL: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-8-axis-edge-faroarm-scanarm>

С.С. Степанова, студ.; С.В. Астахов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО СТОЛА КОМПЛЕКСА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Функционирование терапевтического стола комплекса дистанционной лучевой терапии по шести степеням свободы [1, 2] обеспечивается составными функциональными узлами — устройством поворота стола, механизмом ножничным подъемным, механизмом линейных перемещений, механизмом наклона деки.

Объектом исследования является критически важный для безопасности узел, реализующий вертикальное перемещение и позиционирование рентгенопрозрачной деки с полезной нагрузкой (пациентом) относительно изоцентра (центр наименьшей сферы, через которую проходит ось пучка излучения) [2].

Кинематическая схема указанного узла обладает центральной симметрией. Предполагается, что известна первичная погрешность позиционирования шариковинтовой передачи, связанная с погрешностью управления. При анализе влияния упругих свойств на точность позиционирования принимается, что для пространственной схемы деформации осуществляются в параллельных плоскостях. Приведённые результаты позволяют определить внутренние силовые факторы, необходимые для составления соотношений Максвелла-Мора [3].

Представленная в работе механико-математическая модель позволяет провести оценку влияния различных факторов, в том числе силовых, упругих, а также параметров механической передачи [4] на кинематику и динамику механизма. Результаты исследования помогут проанализировать выявленные отклонения при лабораторных отработочных испытаниях [5] с последующей разработкой разделов технических заданий, направленных на корректировку конструкторских и алгоритмических решений.

Литература

1. **Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C.** Handbook of radiotherapy physics. Theory and practice. — Taylor & Francis Group, LCC, 2007.
2. **Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61217-2013.** Аппараты дистанционные для лучевой терапии. Координаты, перемещения и шкалы. — Москва: Стандартинформ, 2014.
3. **Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.** Соппротивление материалов. — М.: Высшая школа, 2008. — 560 с.
4. **Егоров О.Д.** Конструирование механизмов роботов. — М.: Абрис, 2012. — 444 с.
5. **Сыров А.С.** Проектирование и испытание бортовых систем управления: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. — 344 с.

О.М. Дагиянов, асп.;
рук. А.С. Степанов, к.т.н.
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА»)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ

Шестимерное перемещение (три линейных и три угловых) [1], необходимое для прецизионного позиционирования пациента в точном соответствии с его положением, рассчитанным при получении базового набора срезов компьютерной томографии [2], по которым создавался его план лечения, реализуется терапевтическим столом [2].

В каньоне размещения комплекса дистанционной нейтронной терапии (КНТ) перемещение рентгенопрозрачной деки с полезной нагрузкой (пациентом) из зоны укладки в зону терапии осуществляется роботизированной системой перемещения и позиционирования (РСПП) пациента, с входящими в её состав терапевтическим столом и транспортёром деки.

Автором составлена методология и проведены лабораторные отработочные испытания РСПП, а также совместные испытания [3] в составе КНТ, направленные на подтверждение правильности выбранных конструкторских, схемотехнических и алгоритмических решений для выполнения требований, представленных в техническом задании.

Испытания включают в том числе отработку контуров позиционирования составных функциональных узлов, а также отработку стыковки с транспортёром деки с полезной нагрузкой до 200 кг.

Тестовое программное обеспечение для лабораторных отработочных испытаний обеспечивает отображение и логирование текущего состояния системы управления. В целях решения задач метрологического обеспечения для проверки работоспособности, отображения индикации требуемых параметров, применяется координатно-измерительная машина (производства FARO Technologies Inc) [4].

Литература

1. **Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61217-2013.** Аппараты дистанционные для лучевой терапии. Координаты, перемещения и шкалы. — Москва Стандартинформ, 2014.
2. **Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C.** Handbook of radiotherapy physics. Theory and practice. — Taylor & Francis Group, LCC, 2007.
3. **Сыров А.С.** Проектирование и испытание бортовых систем управления: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011. — 344 с.
4. **8-Axis Edge FaroArm & ScanArm.** [Электронный ресурс], URL: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-8-axis-edge-faroarm-scanarm>

А.Д. Журавлева, студ.; рук. О.М. Капустина, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СУБОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ В ЗАДАЧЕ ПРИВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА В ПРОИЗВОЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЗА НАИМЕНЬШЕЕ ВРЕМЯ

Задача оптимального управления маятником относится к числу классических. Она возникает при проектировании и эксплуатации спутников, индивидуальных транспортных устройств, экзоскелетов. На примере маятника демонстрируются результаты исследований в области теории управления.

Рассматривается задача скорейшего приведения физического маятника в положение $\alpha_T \in [0, 2\pi]$, α_T — угол поворота маятника в терминальный момент T , с условием $\alpha'_T = 0$, α'_T — угловая скорость маятника в момент T . Угол α_T не обязательно является углом равновесия. Маятник управляется двигателем, модуль момента которого ограничен $|M| \leq M_0$.

Задача решается с помощью релейного управления [1], при котором безразмерный момент μ имеет вид кусочно-постоянной функции $\mu = ki$, $i = \pm 1$, $k = M_0/(mgl)$, m — масса маятника, g — ускорение свободного падения, l — расстояние от центра подвеса до центра масс маятника.

Синтез управления $\mu(\alpha, \alpha')$ требует построения на плоскости (α, α') кривых переключения, разделяющих кривых, траекторий управляемого движения. Разделяющие кривые при различных фиксированных α_T, k необходимо строить с помощью громоздких вычислительных процедур.

Существуют [1, 2] пороговые значения k^* такие, что при $k > k^*$ задача решается не более, чем одним переключением. При больших значениях k и старте изображающей точки из области больших угловых скоростей возможно применение субоптимального синтеза. В таком случае разделяющие кривые задаются аналитически и могут быть построены без применения численных методов.

В работе для различных значений $\alpha_T, k, k > k^*$ и субоптимальном управлении на плоскости (α, α') построены фазовые портреты управляемых движений, разделяющие кривые и кривые переключений.

Литература

1. **Reshmin, S.A., Chernousko, F.L.** Properties of the Time-Optimal Feedback Control for a Pendulum-Like System. *J Optim Theory Appl* 163, 230–252 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10957-013-0480-8>.
2. **Решмин С.А.** Пороговая абсолютная величина релейного управления при наискорейшем приведении спутника в желаемое угловое положение. // *Известия РАН. Теория и системы управления*, 2018, № 5, С. 30–41.

*Е.К. Сокиранская, студ.; рук. М.Р. Сайпулаев, к.т.н.;
Г.Р. Сайпулаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕТВЕРОНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА



Рис. 1. Четвероногий шагающий робот

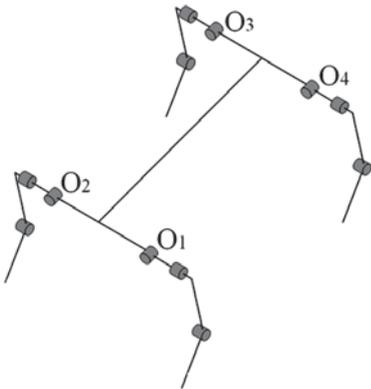


Рис. 2. Кинематическая схема

В современном мире расширяются области применения шагающих роботов, подобных человеку или животным, из-за их возможности адаптироваться к движению по сложным поверхностям. Для решения задачи управления движением шагающих роботов необходимо использовать математические модели кинематики и динамики этих роботов [1, 2].

В работе рассматривается четвероногий шагающий робот, каждая нога которого состоит из трех подвижных звеньев (рис. 1). Кинематическая схема робота представлена на рис. 2. Шарниры в точках O_i , $i=1-4$, крепления ног к корпусу робота обеспечивают поворот ног вокруг продольной оси симметрии робота.

Целью исследования является разработка детальной математической модели движения робота и описание его динамики при различном количестве точек опоры.

Построены уравнения пространственной кинематики и динамики четвероножного робота при различном числе ног, находящихся в опоре. При описании движения робота используются условия непроскальзывания точек контакта ног с опорной поверхностью; ноги предполагаются невесомыми; корпус

робота моделируется однородной пластиной. Рассмотрены кинематика поступательных движений корпуса робота и динамика робота при различном числе опорных ног.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка программного обеспечения и систем управления движением четвероногих шагающих роботов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.

Литература

1. **Sen M.A., Bakircioglu V., Kalyoncu M.** Inverse kinematic analysis of a quadruped robot // International Journal of Scientific & Technology Research. — 2017. — Vol. 6. — № 9. — P. 285–289.
2. **Biswal P., Mohanty P.K.** Development of quadruped walking robots: A review // Ain Shams Engineering Journal. — 2020. — Vol. 12. — P. 2017–2031.

Направление XI
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
Electrical power engineering

Руководитель направления:

Директор института
электроэнергетики НИУ «МЭИ»

к.т.н., доцент

Тулский Владимир Николаевич

Секция 55

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Electric power engineering systems

Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Олег Николаевич

Секретарь секции: Анисимова Ирина Сергеевна

*Т.В. Кетова, студ.; А.И. Коваленко, ст. преп.;
рук. А.А. Лебедев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОИР НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Текущая нормативная документация предоставляет лишь упрощенные рекомендации по переходу на систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по состоянию с использованием риск-ориентированного подхода (РОП), не предлагая конкретных инструкций по его применению. Необходима разработка детализированных алгоритмов, учитывающих количественную оценку рисков и ущербов для электрооборудования.

В настоящей работе рассматривается применение принципов риск-ориентированного подхода на примере тестовой схемы IEEE14. Был рассчитан индекс технического состояния (ИТС) единиц оборудования (ЕО). Для каждой ЕО был выбран вид технического воздействия (ТВ) на оборудование в соответствии с рекомендациями НТД, была проведена оценка влияния назначенных ТВ на ИТС ЕО исходя из статистических данных и с использованием разработанного алгоритма оценки влияния ТВ на техническое состояние ЕО. Затем было проведено сравнение полученных значений «нормативных» ИТС и ИТС, рассчитанных при использовании РОП.

В работе автором была разработана схема алгоритма, позволяющего провести оценку назначенного ТВ, что способствует повышению эффективности применения системы ТОиР с использованием (РОП). Проведенные исследования показали повышение точности оценки ИТС ЕО в среднем на 6%, данный факт говорит о потенциале широкого применения и развития алгоритма в рамках энергосистемы.

Литература

1. **Министерство энергетики Российской Федерации Приказ от 19 февраля 2019 года № 123** «Об утверждении методических указаний по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа».
2. **Министерство энергетики Российской Федерации Приказ от 26 июля 2017 года № 676** «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей».

*А.С. Денискина, А.Д. Платонов, студенты;
рук. И.А. Платонова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 35–220 КВ

По данным пресс-центра компании АО «СО ЕЭС», в 2024 году зафиксированы два абсолютных исторических максимума потребления мощности в ОЭС Юга: зимний — 20950 МВт и летний — 21126 МВт [1]. В результате режим наибольших нагрузок сместился с января на июль, а фактические значения длительно допустимого тока воздушных линий (ВЛ) оказались существенно ниже проектных значений. Проблема низкой пропускной способности усугубляется выводом электрооборудования в ремонт в летние месяцы, что может стать причиной массового отключения потребителей электроэнергии в аномальную жару.

В работе проводится исследование сезонных изменений длительно допустимого тока ВЛ по российскому СТО [2] и по международному стандарту IEEE [3].

В качестве примера на рис. показаны изменения длительно допустимого тока, полученные по СТО для провода АС 240/32, подвешенного на ВЛ 110 кВ в Краснодарском крае. Как видно, в летний период наибольших нагрузок значения длительно допустимого тока примерно на 40% ниже проектных значений для зимнего периода, что приводит к существенному ограничению пропускной способности ВЛ в южных регионах России. На этой же гистограмме для сравнения приведены значения длительно допустимых токов, определенные для зимнего и летнего периодов по Правилам устройства электроустановок [4]. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых подходов к проектированию электрических сетей и выявлению перегруженных ВЛ.



Рис. 1. Изменения длительно допустимого тока для провода АС 240/32 в Краснодарском крае

Литература

1. **Материалы** пресс-центра компании АО «СО ЕЭС» от 17.07.2024. URL: <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/25210/>.
2. **СТО 56947007-29.240.55.143-2013** Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий. — 42 с.
3. **IEEE Std 738™-2012** Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors. — 58 p.
4. **Правила** устройства электроустановок. — 462 с. ISBN 978-5-4374-1688-4

А.Е. Макеев, студ.; рук. И.А. Платонова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ И КОМПАКТИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

В течение последних двух десятилетий в нашей стране появились провода нового поколения, в том числе компактированные, которые могут применяться как в случае нового строительства воздушной линии (ВЛ), так и при проведении реконструкции уже существующих линий. В отличие от стандартных проводов с круглыми проволоками внешние токопроводящие повивы компактированных проводов имеют трапециевидные, Z-образные или пластически обжатые проволоки (рис. 1), изготавливаемые из алюминия или алюминиевого сплава [1]. При примерно равном диаметре компактированное исполнение провода позволяет получить преимущества в виде снижения его активного сопротивления на 8–24% и увеличения разрывной прочности на 13–54% за счет лучшего заполнения поперечного сечения токопроводящей части металлом. Наибольшее увеличение пропускной способности воздушной линии достигается при использовании компактированного провода с сердечником из алюминиевого сплава.

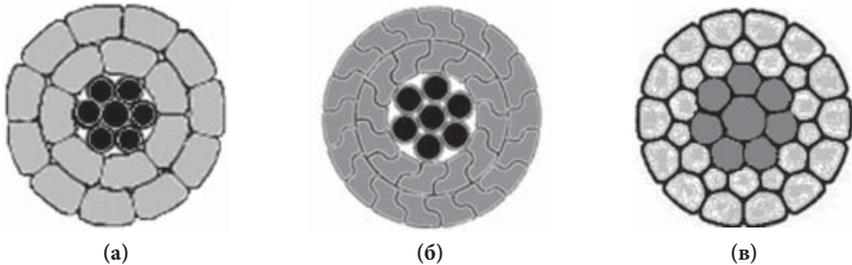


Рис. 1. Поперечные сечения компактированных проводов с токопроводящими проволоками различной формы: (а) трапециевидными; (б) Z-образными; (в) пластически обжатыми

В работе исследуется целесообразность применения компактированных проводов по сравнению со стандартными сталеалюминиевыми проводами на примере ВЛ 110–220 кВ. Механический расчет проводов выполняется по методу допускаемых напряжений с использованием расчетных гололедных и ветровых нагрузок [2]. Значение максимально возможного в условиях ровной местности габаритного пролета позволяет оценить экономию требуемых промежуточных опор при новом строительстве линии. В случае неизменной расстановки опор применение компактированных проводов большего сечения приводит к снижению потерь мощности и увеличению пропускной способности ВЛ. Полученные результаты важны для работы проектировщиков воздушных линий на этапе выбора конкретного провода.

Литература

1. **СТО 56947007-29.060.50.268-2019** Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с неизолированными проводами нового поколения / Утвержден и введен в действие Приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 01.07.2019 № 200.
2. Механический расчет проводов, тросов и изоляторов воздушных линий электропередачи / Г.К. Зарудский, И.А. Платонова. — М.: МЭИ, 2013. — 205 с.

*Д.В. Стаценко, студент;
рук. И.С. Анисимова, старший преподаватель
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС

Обеспечение синхронной динамической устойчивости (СДУ) генерирующего оборудования (ГО) электрических станций является одним из критериев надёжной и устойчивой работы электроэнергетической системы. В энергосистеме России возникают большие возмущения, а именно короткие замыкания (КЗ), которые приводят к нарушению параллельной работы синхронных генераторов станции относительно шин приёмной системы. Нарушение условий СДУ ГО приводит к ограничению выдаваемой мощности с электростанции. Таким образом появляется необходимость рассмотреть мероприятия по увеличению выдаваемой мощности электростанции по условию сохранения СДУ ГО.

Цель работы — оценить эффективность мероприятий по улучшению условий СДУ для существующей гидроэлектростанции ОЭС Сибири.

В результате работы определены нормативные возмущения (НВ) при которых ограничивается выдача всей установленной мощности генерирующих агрегатов электростанции в энергосистему. Определено наиболее тяжёлое НВ по критерию обеспечения СДУ. Проведен расчёт электромеханических переходных процессов в ПВК «RastrWin3», вызванных наиболее тяжёлым НВ с учётом действия автоматики разгрузки при близких и затяжных коротких замыканиях и усиления связи большой протяжённости путём установки устройства продольной компенсации (УПК). Рассматривался наиболее рациональный вариант с технической точки зрения — установка УПК в середине электропередачи с 50-процентной емкостной компенсацией [1]. В результате, предельная выдаваемая активная мощность генераторами станции по условию СДУ при действии противоваарийной автоматики превышает предельную выдаваемую активную мощность электростанции при установке УПК на 9% при наиболее тяжёлом НВ. Полученные результаты могут быть применены при проектировании схем выдачи мощности электростанций и планировании режимов работы ЭЭС.

Литература

1. **Фокин В.К.** Повышение выдачи мощности Саяно-Шушенской ГЭС с помощью емкостной компенсации на линии СШГЭС — «Новокузнецкая», «Кузбасская» // Научно-технический журнал «Энергия единой сети» 2013. № 2 (7) — С. 66–73.

Н.А. Каримов, асп.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС ПРИ ИНТЕГРАЛЬНОМ ЗАКОНЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

На сегодняшний день одним из наиболее актуальных вопросов энергетики является устойчивость работы электроэнергетической системы. Проблема связана с изменением динамических характеристик энергосистемы в условиях развития распределенной генерации, объектов с возобновляемыми источниками энергии и установок с силовой электроникой. В связи с этим актуализируются вопросы совершенствования и адаптации систем автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов для обеспечения устойчивости энергосистемы [1].

В рамках исследования рассмотрены вопросы применения интегрального закона регулирования возбуждения синхронного генератора. Объектом исследования является синхронный генератор, оснащенный автоматическим регулятором возбуждения, подключенный к энергосистеме через повышающий трансформатор и передающий мощность по двухцепной линии электропередач. Осуществлено теоретическое исследование условий устойчивости электроэнергетической системы с применением метода D -разбиения и критерия Михайлова. Апробация результатов была проведена с помощью математической модели в программно-вычислительном комплексе *MATLAB* с применением пакета библиотек *Simulink*. Приведен пример использования алгоритма выбора величины настроечного параметра интегрального регулятора для тестовых данных математической модели. Проанализировано изменение годографа Михайлова при различных значениях постоянной времени интегрирования. По результатам исследования сделаны выводы о возможности обеспечения статической колебательной устойчивости синхронного генератора, оснащенного интегральным регулятором возбуждения и о допустимости применения данного закона регулирования в энергосистеме.

Полученные результаты могут быть применены при проектировании, а также для исследования нормальных и аварийных режимов работы электроэнергетических систем.

Литература

1. Аскарлов А.Б., Андреев М.В., Чикишев Е.М., Суворов А.А., Рудник В.Е. Современные направления развития систем автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов электростанций // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления № 39, 2021.

О.М. Санчес, асп.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОСТРОВА ХУВЕНТУД С УВЕЛИЧЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Текущая структура генерирующих мощностей Кубы характеризуется высокой зависимостью от привозного ископаемого топлива. Электроэнергия, поставляемая конечным потребителям, имеет высокую стоимость. Обилие возобновляемых ресурсов можно использовать для решения проблемы зависимости от привозного топлива и выбросов углекислого газа.

На Кубе к 2030 году планируется увеличения доли возобновляемых источников энергии до 24%, а на острове Хувентуд — до 30%.

Остров имеет изолированную энергосистему, в которой в настоящее время 6% электроэнергии производится из возобновляемых источников энергии. Цель работы — проанализировать показатели функционирования электроэнергетической системы острова Хувентуд с увеличивающейся долей возобновляемых источников энергии в структуре генерирующих мощностей и накопителя электроэнергии.

При проведении анализа балансов мощности и электроэнергии выявлена необходимость проведения планировании режимов работы системы с учётом особенностей выдачи мощности возобновляемыми источниками энергии, более тщательного планирования эксплуатации объектов энергосистемы, более точного прогнозирования графиков нагрузки системы. Выявлено, что строительство трёх солнечных электростанций мощностью 15,645 МВт и внедрение системы накопления энергии мощностью 15,5 МВт даст возможность обеспечить электроснабжение потребителей при увеличении мощности нагрузки острова от 24 до 33 МВт.

Полученные результаты исследования будут приемы при планировании развития энергосистемы острова Хувентуд и при управлении режимом энергосистемы.

Литература

1. **Нормаматов Н.Н., Шаназаров А.Э., Айтбаев Н.А.**, Влияние возобновляемых источников энергии на энергосистему, 2020 г.
2. **Климатическая характеристика подстанций.** Электрическая компания острова Хувентуд. Группа компаний ГЕОКУБА. февраль 2022 г.
3. **Правила функционирования Энергосистемы Кубы**, 136, 2016 г.
4. **Ежемесячные и годовые характеристики электрической системы острова Хувентуд.** Диспетчерская служба. UNE, 2015–2023 г.

А.А. Самойлов, асп.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ РАСЧЕТ ЭМПП В ЭЭС С СИЛОВЫМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Распространение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) влечет за собой изменение условий ведения электрического режима. Стохастическая выработка ВИЭ обуславливает быстрые изменения потоков мощности, что может привести к нарушениям работы единой энергетической системы (ЕЭС). Для обеспечения работоспособности электроэнергетических систем (ЭЭС), содержащих ВИЭ-генерацию, может использоваться управление потоками мощности с помощью силовых полупроводниковых устройств (СПУ). В настоящее время в ЕЭС увеличивается количество СПУ [1].

Самым быстрорастущим направлением в данный момент является применение вставок постоянного тока. Планируется также расширение применения СПУ для компенсации реактивной мощности в ЭЭС и повышения гибкости линий электропередачи [2]. В связи с этим существует потребность в разработке методики точного расчета влияния СПУ на режим ЭЭС. Для снижения трудоёмкости целесообразно проводить расчеты с помощью программно-вычислительных комплексов (ПВК).

Цель работы — провести обзор способов расчета СПУ в ПВК. Проведенный анализ в дальнейшем позволит разработать методику моделирования СПУ в обобщенных параметрах режима. В ходе работы автором выполнено сравнение используемых алгоритмов в основных используемых ПВК (RUSTAB, Digsilent Powerfactory, ETAP) по ряду критериев (табл.1).

Таблица 1. Некоторые результаты анализа рассмотренных ПВК

ПВК	Powerfactory	RUSTAB	ETAP
Метод расчета	Ньютон	Ньютон	Ньютон (в т.ч. Адаптивный Ньютон) Зейдель Метод декомпозиции
Вывод	Быстрая сходимость, нестабильная точность		Регулируемые скорость сходимости и точность

Результаты проведенного анализа послужат основой дальнейшей работы над исследованием методов расчета, повышения точности расчетов электромеханических переходных процессов в ЭЭС, имеющих СПУ.

Литература

1. **Системный оператор Единой энергетической системы.** Проект Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года.
2. **Chethan M., Kuppan R.** A review of FACTS device implementation in power systems using optimization techniques. *Journal of Engineering & Applied Science*. 2024.

М. Балдорж, асп.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МОНГОЛИИ: ПРОГНОЗ ДО 2030 ГОДА»

В условиях глобальных изменений и растущих потребностей в электроэнергии, Монголия сталкивается с вызовами, связанными с обеспечением устойчивого энергоснабжения и сильным отставанием ввода генерирующих мощностей от роста электропотребления. Экономические факторы, такие как уровень ВВП, инвестиции в инфраструктуру и политические регулирование страны, играют ключевую роль в формировании потребления электроэнергии.

В 2020 году Правительство Монголии утвердило программу «Видение — 2050», направленную на долгосрочное развитие страны. В рамках этой инициативы в течение следующих 30 лет Монголия планирует перейти от экономики потребления к модели, ориентированной на производителей и экспортеров.

Экономика Монголии в значительной степени зависит от состояния горнодобывающей отрасли, включая такие ресурсы, как медь, золото, уголь, уран, железная руда, цинк, молибден, серебро и другие полезные ископаемые. Экономические показатели страны продолжают демонстрировать рост, и по состоянию на 2020 год валовой внутренний продукт на душу населения достиг 4,04 тысячи долларов США.

В работе используется метод прогнозной экстраполяции, который учитывает рост экономических показателей за последние 10 лет, включая регрессионное моделирование и сценарный анализ и анализ роста электропотребления, что позволяет выявить зависимости между экономическими показателями и потреблением электроэнергии. Предварительные результаты показывают, что рост ВВП напрямую влияет на рост потребления электроэнергии и в среднем увеличение ВВП на 1% приводит к росту электропотребления примерно на 0,76%. Также выявлено, что изменения в структуре потребления, связанные с ростом населения и урбанизацией, оказывают значительное влияние на спрос.

В результате исследования был построен предварительный сценарий роста электропотребления, который может служить основой для разработки стратегий устойчивого развития электроэнергетической системы Монголии.

Литература

1. **Орлов Д.В.** Методы прогнозирования электропотребления / Д.В. Орлов, А.В. Таран, Е.В. Зиновьев, Д.Г. Мумладзе // Евразийский союз ученых. 2015. № 4 (13).

И.А.И. Солиман, асп.; рук. В.Н. Тульский, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ (ЗСЭМ) И ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В СЕТИ (ЭМВС) ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

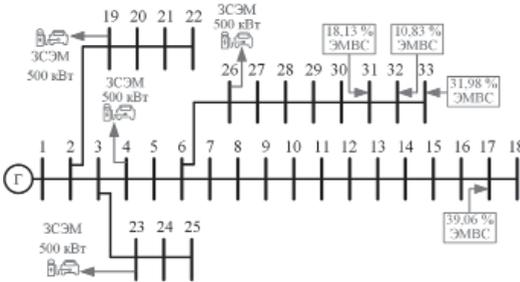


Рис. 1. Однострочная схема радиальной системы узлов IEEE 33

Активная интеграция электромобилей обусловлена борьбой с изменением климата и снижением загрязнения окружающей среды. Это приводит к увеличению числа ЗСЭМ. Однако несогласованное размещение ЗСЭМ может негативно повлиять на график нагрузки и пропускную способность электрической сети. Это ухудшает качество электро-

энергии, включая форму кривой напряжения и увеличение потерь мощности. [1].

В данном исследовании предлагается методика оптимального размещения ЗСЭМ и систем ЭМВС. Подход включает формулировку многокритериальной целевой функции, направленной на минимизацию общих потерь энергии при интеграции нагрузок, оптимизацию профиля напряжения и максимизацию коэффициента мощности системы. Для решения этой задачи использован генетический алгоритм (ГА). Моделирование проводилось на тестовой системе IEEE-33 как показано на рис. 1. Результаты показывают, что стабильность напряжения на сильно загруженных узлах (4, 19, 23 и 26) остается высокой и близкой к единице. Минимальное напряжение составляет 0,9194 о.е. на узле 18. Более того, интеграция новых нагрузок мощностью 2 МВт и систем ЭМВС емкостью 3,9 МВт·ч приводит к снижению общих потерь энергии на 14,59%. Полученные результаты могут быть использованы для оптимального размещения зарядной инфраструктуры электромобилей в распределительных сетях, что повысит эффективность их работы. Методика также применима для интеграции возобновляемых источников энергии и управления нагрузкой при росте количества электромобилей.

Литература

1. Soliman I.A., Tulsy V., Abd El-Ghany H.A., ElGebaly A.E. Efficient allocation of capacitors and vehicle-to-grid integration with electric vehicle charging stations in radial distribution networks // Applied Energy, vol. 377, p. 124745, 2025.

*Д.М. Емельянов, студент, А.А. Курналеева, асп.;
рук. Р.В. Булатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Развитие возобновляемой энергетики в России является перспективным направлением, которое соответствует климатической повестке и общемировому тренду по декарбонизации [1]. При этом выбор места подключения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, ветроэлектростанций (ВЭС) в энергосистеме является важной и актуальной задачей, при решении которой применяются оптимизационные алгоритмы с различными целевыми функциями, при этом в качестве ограничений зачастую выступают технические аспекты — параметры режима, нагрузка оборудования электрической сети и т.д. [2].

Целью данной работы является выбор оптимального места подключения ВЭС в распределительную электрическую сеть (РЭС) по критериям оптимизации — минимума потерь активной мощности и максимума функции благосостояния на рынке электроэнергии. В работе рассматривалась тестовая IEEE 14-узловая схема, смоделированная в программном комплексе *RastrWin3*. В работе учтены не только технические аспекты, но и экономические, а именно: влияние места подключения ВЭС на формирование цены на электроэнергию в узлах энергосистемы.

На основе оптимизационных критериев минимизации потерь активной мощности в РЭС и максимизации функции благосостояния на рынке электроэнергии был определен оптимальный узел для подключения ВЭС в энергосистему, проведен анализ параметров режима и оценена их допустимость, а также определены узловыe цены на электроэнергию. Полученные результаты могут использоваться при выборе места установки ВЭС для получения оптимальных режимных параметров энергосистемы с технической и экономической точки зрения.

Литература

1. **Максимцев И.А., Костин К.Б.** “Инновационное развитие отечественного и мирового энергетического сектора: переход к зеленой энергетике”.
2. **Идельчик В.И.** Электрические системы и сети // Оптимизация режимов электроэнергетических систем и электрических сетей. — 2-е изд., стереотипное, перепечатка с издания 1989 г. — М.: ООО “Издательский дом Альянс”, 2009.

Е.С. Астахов, студ.; Д.П. Яковлев, студ.;
рук. А.И. Коваленко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Определение технически и экономически обоснованных проектных решений для распределительных электрических сетей остается актуальной задачей электроэнергетики. Существующие методы проектирования, как ручные, так и программные, не позволяют полностью автоматизировать процесс и не учитывают распределённые источники энергии. Целью работы является разработка алгоритма автоматического проектирования распределительной сети, который обеспечит минимизацию капитальных затрат при обеспечении заданных показателей качества электроэнергии на основании географического расположения точек.

В работе предложен алгоритм автоматического синтеза оптимальной структуры и параметров схемы электрической сети. Для реализации алгоритма использовался метод динамического программирования со «схлопыванием» решений [1], что позволило значительно сократить пространство поиска решений. Составление топологий сети производится с использованием механизма кластеризации точек — *DBCAN* (*пространственная кластеризация точек с шумом на основе плотности распределения*). Предложенный метод позволил за короткое время находить решение, удовлетворяющее всем ограничениям, с близким к оптимальному значением целевой функции.

Для проверки эффективности предложенного подхода были проведены вычислительные эксперименты на 13-ти узловой схеме распределительной сети. Рассматривались две задачи: проектирование новой электрической сети и развитие существующей электрической сети с использованием разработанного алгоритма. Результаты показали, что предложенный алгоритм позволяет эффективно находить решения близкие к оптимальным, учитывая как технические, так и экономические аспекты.

Разработанный алгоритм позволит автоматизировать процесс проектирования электрической сети, учитывая различные варианты конфигурации сети и уровни номинальных напряжений подстанций. Предложенный подход позволяет решать как задачи проектирования новой, так и развития уже существующей электрической сети.

Литература

1. **Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А.** Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1990.

Секция 56

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Power supply

Председатель секции: к.т.н., доцент Шведов Галактион Владимирович

Секретарь секции: Королева Елизавета Сергеевна

М.Т. Перинский, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАИБОЛЬШЕЙ НАГРУЗКИ НА СРОК ОКУПАЕМОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЭП

При проектировании ЛЭП на этапе выбора номинального напряжения обычно принимают в расчет максимальную мощность через рассматриваемую линию в режиме наибольших нагрузок, однако стоит учитывать такой немаловажный показатель, как график нагрузки, который, в том числе, характеризуется числом часов использования максимальной нагрузки.

На примере реальной схемы электроснабжения потребителей объектов нефтедобычи одного из предприятий Оренбургской области показано влияние числа часов использования максимальной нагрузки на срок окупаемости строительства и эксплуатации ЛЭП. В примере электроснабжение осуществляется от ПС 110/10 кВ по воздушной линии 10 кВ длиной 18 км. За время эксплуатации уровень мощности по рассматриваемой линии возрос с 1 до 3 МВт, что привело к большим значениям потерь активной мощности. Для снижения потерь рассмотрен вариант строительства ВЛ 110 кВ.

По результатам проведенного экономического расчета и анализа [1], было установлено, что при $T_{\text{НБ}} = 6000$ ч/год проект строительства ВЛ 110 кВ окупится за 4 года [2], а при $T_{\text{НБ}} = 4000$ ч/год — 7,5 лет, при $T_{\text{НБ}} = 2000$ ч/год — 20 лет. Была построена зависимость срока окупаемости строительства от числа часов использования наибольшей нагрузки.

Таким образом, учет числа часов использования максимальной нагрузки оказывает существенное влияние на срок окупаемости строительства и эксплуатации ЛЭП.

Литература

1. **Ершевич В.В., Зейлигер А.Н., Илларионов Г.А.** Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1985. — 352 с.
2. **Глазунов А.А., Шведов Г.В.** Проектирование районной электрической сети. Москва: Издательский дом МЭИ, 2010. — 72 с.

В.Д. Битней, асп.; А.А. Булавина, студ.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VEHICLE-TO-GRID ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ БИЗНЕС-ЦЕНТРОВ В МОСКОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Актуальность использования vehicle-to-grid (V2G) технологии очевидна в контексте растущего числа электромобилей. Электромобили представляют собой потенциальные ресурсы для балансировки электросети, в то время как традиционные технологии предоставления энергии затрагивают вопросы экологической устойчивости и эффективности.

Существует тенденция по усилению неравномерности суточного графика нагрузки, что негативно влияет на эффективность работы генерирующего оборудования. Для решения данной проблемы предлагается применение технологии V2G, которая позволяет передавать электроэнергию, как в сторону электромобиля с установленным в нем аккумулятором, так и в обратном направлении в сеть.

Целью данной работы является анализ концепции двухстороннего использования электромобилей, подразумевающей подключение машины в общую электрическую сеть для его подзарядки и возможностью выдачи его электроэнергии для участия в управлении графиком нагрузки. Дополнительно произведена разработка технических мероприятий для выравнивания графика нагрузки путем установки зарядных станций с технологией V2G.

В рамках данной работы были рассмотрены различные способы по установке зарядных станций с применением технологии V2G для выравнивания нагрузки бизнес-центра.

Применение технологии V2G является обоюдно выгодным, как для владельцев электромобилей, так и для энергосистемы Московского региона. Владельцы электромобилей могут получить потенциальный дополнительный доход или закрепленное место на крытом паркинге. При этом снижение неравномерности графика нагрузки также имеет неоспоримое значение для создания более устойчивой и эффективной энергетической системы.

Литература

1. **Ахмадеев А.Р.** Влияние электромобилей и зарядных станций на электрические сети. Энергоэксперт, № 1(65), С. 24-28, 2018.
2. **Сусаренко М.Ю.** Система V2G (Vehicle To Grid) как важнейший элемент интеграции электромобилей в энергетическую систему страны. Флагман науки, № 8(8), С. 383-387, 2023.

Л.В. Фаткина, студ. ;
рук. О.А. Васильева, к.т.н., доц. (СПбПУ, Санкт-Петербург)

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА ПРИ АНАЛИЗЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Несинусоидальность напряжения в системах электроснабжения является актуальной проблемой в связи с широким использованием электронной техники и силового оборудования с импульсными преобразователями.

В работе представлены результаты исследований качества электрической энергии на вводе системы электроснабжения административно-производственного здания в Санкт-Петербурге. Измерения подтвердили систематические отклонения коэффициентов гармоник напряжения $K_{U(3)}$ и $K_{U(9)}$ от нормативных значений [1], регламентированных ГОСТ 32144-2013.

Выполнен анализ эмиссии гармонических составляющих тока нагрузками потребителя с применением методики проекта ГОСТ Р «Нормы гармонических составляющих и составляющих обратной последовательности тока в сетях общего назначения среднего и высокого напряжения», разрабатываемого НИУ «МЭИ». Результаты измерений показали, что в точке подключения потребителя значение гармоники тока третьего порядка $I_{(3)}$, равное 60,9 А, превышает расчетное нормативное значение $I_{\text{норм}(3)}$, равное 54,4 А, в 37% времени измерений. Сделан вывод о возможности использования сертифицированных СИ ПКЭ для контроля эмиссии гармоник тока с целью определения виновной стороны и реализации мероприятий по компенсации электромагнитных помех, вносимых в сеть, сверх установленных значений.

Измерения проведены специализированными микропроцессорными устройствами BINOM3, обеспечивающими класс А характеристик процесса измерений. Разработаны требования к СИ ПКЭ для автоматизированного контроля и мониторинга эмиссии гармонических составляющих тока и составляющих тока обратной последовательности основной частоты в соответствии проектом вышеназванного ГОСТ Р.

Литература

1. Васильева О.А., Попов М.Г., Шахова М.А., Валеева Е.Ю., Марковская Ю.А. Анализ качества электрической энергии в системе электроснабжения с преобладающей импульсной нагрузкой // Электричество. 2024. № 2.

И.А. Бабенко, асп.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ НАГРУЗОК ЛИФТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ НАГРУЗКИ ЖИЛОГО ДОМА

При проектировании систем электроснабжения многоквартирных жилых домов и городских электрических сетей определяется расчетная электрическая нагрузка дома. Расчетная нагрузка жилого дома определяется согласно нормативно-технической документации [1] по следующей формуле:

$$P_{р.ж.д} = P_{кв} + k_y \cdot (P_{ст.у} + P_{р.л})$$

$P_{кв}$ — расчетная нагрузка квартир; $P_{ст.у}$ — расчетная нагрузка санитарно-технических устройств; $P_{р.л}$ — расчетная нагрузка лифтов; k_y — коэффициент участия силовых электроприемников в максимуме нагрузки.

За последнее время было проведено немало исследований электрических нагрузок в жилых домах. Было выяснено, что фактические значения сильно меньше нормативных. Однако, в данных работах исследуют нагрузку на вводе в здание, либо отдельно квартир. Отдельно нагрузку силового оборудования, в частности лифтов, не учитывают.

В данной работе была определена фактическая нагрузка лифтов и их коэффициент спроса в одном из жилых домов (12 этажей, 2 лифта). Исходными данными являются получасовые показания активной электроэнергии прибора учета, установленного на цепи питания лифтов, полученных за период май 2023 г. — март 2024 г. В итоге, фактический коэффициент спроса лифтов меньше нормативного в 3,9 раз.

Также, в работе проведена оценка экономического эффекта от применения фактического коэффициента спроса лифтов при расчете нагрузки жилого дома с теми же характеристиками (этажность, количество лифтов) на этапе строительства. В итоге, расчетная нагрузка жилого дома снизилась, что позволило выбрать питающие кабели на одно сечение меньше и снизить стоимость питающих кабелей на 17,5%.

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.

*А.А. Криворучко, О.М. Евлахова, студенты;
рук. И.А. Платонова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СООРУЖЕНИЯ НАДЗЕМНОГО ПЕРЕХОДА ВРЕМЕННОЙ ВОЗДУШНО-КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ 6–10 КВ

В настоящее время существует необходимость обеспечения надежного и оперативного электроснабжения временных объектов, таких как строительные площадки, геолого-разведывательные экспедиции и районы с аварийными отключениями. Для таких целей применяются временные или быстровозводимые электрические сети (БЭС).

Линии электропередачи для временного электроснабжения в силу своего назначения могут прокладываться при самых разнообразных особенностях рельефа в зависимости от конкретных условий и требований. Одним из ключевых решений является использование надземных переходов временных воздушно-кабельных линий для преодоления естественных препятствий, а также для пересечения инженерных сооружений, в частности автомобильных дорог.

На сегодняшний день выбор и обоснование конструкций, учитывающих климатические условия, максимальные длины пролетов и высоту подвески проводов на временных воздушно-кабельных линиях нуждаются в дополнительном изучении. Кроме того, появление БЭС требует модернизации нормативно-технической базы. Например, в главу 2.5 Правил устройства электроустановок [1] следует добавить требования и рекомендации по проектированию временных участков воздушных линий. Таким образом, данное исследование имеет большое значение для развития в области временного электроснабжения с целью более эффективного и надежного решения задач при строительстве, аварийном восстановлении и временном подключении объектов инфраструктуры.

В данной работе предложены возможные конструкции проводов для БЭС. Проанализированы длины максимально возможного в условиях ровной местности (габаритного) пролета в зависимости от климатических особенностей района сооружения линии и высоты подвески провода на опорах. Результаты выполненного исследования позволяют определить нагрузки, действующие со стороны проводов на опору, и при необходимости скорректировать изначально предложенные конструкции быстровозводимых опор.

Литература

1. **Правила** устройства электроустановок. Раздел 2. Передача электроэнергии. Гл. 2.4., 2.5. — 7-е изд. — М.: ЭНАС, 2004. — 160 с.

Е.С. Кривенко, студ.;
рук. М.Л. Артемьева, ст. преподаватель
(Чукотский филиал СВФУ, Анадырь)

ВСТРОЕННЫЙ ПОДЪЕМНИК НА ОПОРУ ЛЭП 35КВ

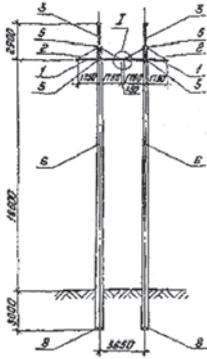


Рис. 1. Вид опоры

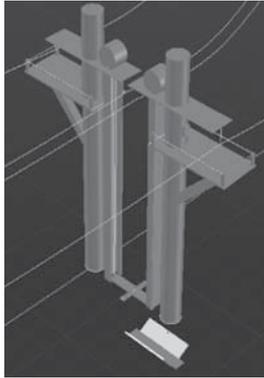


Рис. 2. ЛЭП
с подъемником

Цель: разработка новой конструкции опоры для упрощения подъема электромонтёров при работе на высоте во время ремонтных работ.

При помощи данной конструкции обеспечивается быстрый доступ, после подъема на ЛЭП, ко всем фазам, чем если использовать специальную машину, лестницу или лазы/когти.

Устройство, поднимающее электромонтёров, работает по принципу лифта и крепится во внутренней

части траверс двухстоечной опоры. Лифт будет подниматься при помощи двух асинхронных двигателей. Источник питания двигателей, аккумуляторные батареи, прикреплённые к балкам.

Платформа, на которую становится работник, раскладная и переносная. Место, где устанавливается платформа, находится у каждой опоры. Поднимает платформу двигатель прочными металлическими канатами.

После подъема расположение лифта дает доступ только к фазам, которые во внутренней части опоры, а другие две фазы расположены по краям. Чтобы иметь доступ к ним, было предусмотрена переключательная с периллами, установленная под траверсой.

Чтобы определиться, выдержит ли опора данную конструкцию, были рассчитаны изгибающие моменты, перпендикулярной оси ЛЭП в нормальном режиме. Изгибающий момент одной стойки СК22.4-1.1 равен 219,25 кН·м, максимальный расчётный момент составил на одну опору 125,247 кН·м., следовательно, опора выдержит конструкцию.

Литература

1. **О.А. Воронцова.** Основы механического расчета опор воздушных линий электропередачи: учеб.-метод пособие- 2-е изд., перераб. — Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. — 60 с.
2. **М.А. Короткевич.** Проектирование механической части линий электропередачи: учебно-методическое. Минск: БНТУ, 2016. — 116 с.; вкл.

К.А. Бейсенова, студ.;
рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ БЫТОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Современное развитие характеризуется увеличением мощностей нагрузок на предприятиях и ростом коммунально-бытовых нагрузок, что приводит к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения. Это, в свою очередь, снижает эффективность работы и сокращает срок службы систем электроснабжения и их электроприемников. Нерациональное распределение большого числа несимметричных и нелинейных потребителей усугубляет проблему, вызывая ухудшение качества и создавая несимметрию напряжений в сети и на зажимах оборудования. Рост несимметрии увеличивает потери в энергетическом оборудовании при передаче и потреблении, а также сокращает его срок службы. Исследование показателей качества электроэнергии (ПКЭ) и поиск наиболее эффективных способов их улучшения остаются актуальными задачами в электроэнергетике.

Было проведено исследование на основе отчетных данных сетевых организаций по качеству электрической энергии и выделены основные причины нарушения КЭ у потребителя: неравномерное распределение нагрузки по отдельным фазам, несоблюдение режима потребления максимально допустимой мощности, использование электроустановок с нелинейной вольт-амперной характеристикой, резко переменная нагрузка.

На основании полученных выводов были предложены следующие меры по улучшению качества электрической энергии:

- Оптимизация распределения нагрузки по фазам.
- Установка компенсирующих устройств для уменьшения влияния нелинейных нагрузок.
- Применение современных фильтров и стабилизаторов напряжения.
- Разработка программ управления энергопотреблением, учитывающих динамические изменения нагрузки.

Эти мероприятия позволят снизить негативное воздействие на систему электроснабжения, повысить ее надежность и продлить срок службы оборудования.

Литература

1. **Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 28.08.2023 № 690** «Об утверждении требований к качеству электрической энергии, в том числе распределению обязанностей по его обеспечению между субъектами электроэнергетики и потребителями электрической энергии».
2. **ГОСТ 32144-2013** «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

*С.С. Соловьёв, студ.;
рук. А.Н. Назарычев, д.т.н., проф. (СПГУ, Санкт-Петербург)*

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЩЕГО ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТОИР

В настоящее время одним из наиболее важных факторов, влияющих на стоимость выпуска конечной продукции является непрерывность технологического цикла. Она достигается обеспечением бесперебойного электроснабжения, а также безотказностью электромеханического оборудования, играющего ключевую роль в технологическом процессе. Непрерывное электроснабжение достигается поддержанием требуемого уровня надежности, а безотказность оборудования эффективной диагностикой, позволяющей выявлять дефекты на ранней стадии.

Для оценки надежности в данной работе был выбран общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ), преимуществами которого перед другими методами является возможность оценки надежности при любом законе распределения средней наработки на отказ, а также рассмотрение всех возможных комбинаций выхода из строя оборудования. Последнее преимущество позволило смоделировать различные состояния системы и провести сравнительный анализ показателей надежности. Выбранными показателями надежности являются вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ, коэффициент готовности системы. Также в рамках оценки надежности были оценены положительные вклады каждого элемента, которые характеризуют реальные возможности по повышению надежности. Оценка надежности была произведена для схемы электроснабжения установки электроцентробежного насоса от кустовой двухтрансформаторной подстанции. В результате анализа были выявлены 6 вариантов отказов элементов, которые приводят к наибольшему снижению показателей надежности. Таким образом, был сформирован алгоритм по приоритизации оборудования для диагностирования. Этот алгоритм формирует рекомендации для выбора диагностируемого оборудования, которое в случае отказа приведет к наибольшему снижению надежности.

Литература

1. **Назарычев, А.Н.** Оценка надёжности систем электроснабжения на основе специализированного программного обеспечения с учетом технического состояния электрооборудования / Назарычев А.Н., Бабанова И.С., Пугачев А.А., Андреев Д.А., Петров.
2. **Рябинин И.А., Черкесов Г.Н.** Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. — М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.

*К.К. Лобко, асп.; рук. Я.Э. Шклярский, д.т.н., проф.
(Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург)*

ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЫСШИХ ГАРМОНИКАХ

Проблема высших гармоник в электрических сетях возникает при внедрении на производство полупроводниковой техники, которая, улучшая технологические показатели, приводит к появлению несинусоидального режима напряжения. Для анализа данной проблемы используется методика, основанная на составлении однофазной схемы замещения на высших гармониках из принципиальной однолинейной схемы предприятия [1]. При этом реальные объекты заменяются их моделями, представленными в виде функций сопротивлений, источников тока или напряжения, зависящих от номера гармоники.

Цель исследования заключалась в проверке соответствия классической теоретической [2] схемы замещения линейной нагрузки — асинхронного двигателя с экспериментальными данными. Для этого был собран лабораторный стенд, включающий асинхронные двигатели мощностью 1,5 кВт и 5,5 кВт, работающие в различных режимах нагрузки параллельно с источниками гармонических искажений с разной пульсностью для разных экспериментов. В процессе экспериментов фиксировались осциллограммы токов и напряжений, на основе которых определялись зависимости комплексных сопротивлений двигателей от номера гармоники.

Результаты показали значительные количественные и качественные расхождения между теоретическими и экспериментальными данными. Установлено, что основное качественное отличие состоит в независимости комплексного сопротивления асинхронного двигателя от момента его нагрузки. На основе аппроксимации экспериментальных характеристик была предложена новая схема замещения асинхронного двигателя на высших гармониках, которая может быть использована для повышения точности анализа электрических сетей с несинусоидальными режимами.

Литература

1. **Скамьин А.Н., Добуш В.С., Жопри М.Х.** Определение сопротивления электрической сети при расчете режимов с искажениями в напряжении // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 443–454. DOI: 10.31897/PMI.2023.25
2. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1984.

И.С. Назаров, студ.;
рук. А.С. Соловьёва, ассист. (НИУ «МЭИ», Москва)

АКТУАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ

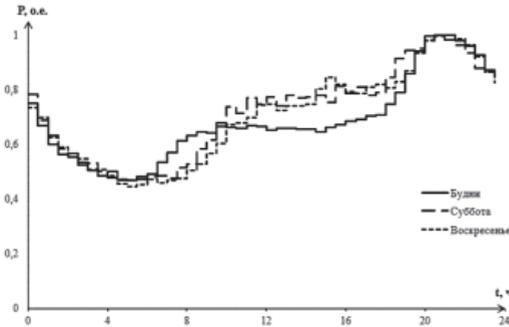


Рис. 1. Актуализированные суточные графики нагрузки

Во многих справочниках по проектированию городских электрических сетей используются типовые графики нагрузки жилых многоквартирных зданий, полученные около 40 лет назад. Однако произошли кардинальные изменения в структуре занятости, образе жизни людей, а также изменилась структура и количество бытовых электроприемников. Значения электрических нагрузок

являются основой для решения большинства задач проектирования и эксплуатации систем электроснабжения. Точность определения нагрузок потребителей влияет на технико-экономические показатели систем электроснабжения, поэтому важно актуализировать графики нагрузки для современных домов.

В качестве объектов исследования были выбраны 4 многоквартирных жилых зданий с электрическими плитами на северо-западе Москвы. В [1] предлагается строить графики рабочих дней, субботы и воскресенья по совпадению их конфигурации. На рис. 1 приведён усредненный графики нагрузки с февраля по апрель.

Сравнивая полученные графики с [2] и [3], были замечены следующие изменения: отсутствует явный утренний максимум в выходные дни и дневной провал в рабочие дни; существенно увеличилась плотность графиков нагрузки; коэффициент неравномерности графиков нагрузки вырос в 4 раза.

Литература

1. Демиденко А.С., Шведов Г.В. Суточные графики электрических нагрузок многоквартирных домов в системах электроснабжения городов // Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. — С. 123–127.
2. Тульчин И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети жилых и общественных зданий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 306 с.
3. Козлов В.А. Справочник по проектированию электроснабжения городов. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 254 с.

В.Д. Зорина, студ.; рук. А.С. Соловьева, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕКУЩИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ В ПРИГОТОВЛЕНИИ ПИЩИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

За последнее десятилетие под влиянием научно-технического прогресса произошли не только существенные изменения в структуре и количестве бытовых приборов, но и в структуре занятости населения. Однако в большинстве научно-технической литературы для проектирования городских электрических сетей содержатся данные, относящиеся к периоду, когда бытовых приборов было существенно меньше, а уровень благосостояния населения и информатизации квартир был гораздо ниже [1].

Например, значительный вклад в нагрузку квартиры вносит мощный электроприбор — кухонная плита [2]. Однако в настоящее время многие люди отдают предпочтение современным методам приготовления пищи, используя мультиварки и микроволновые печи, вместо традиционных плит, что приводит к изменению интенсивности потребления электроэнергии. Кроме того, с ростом технологий, повышающих комфорт человека в приготовлении пищи, увеличивается и частота их использования. Современные кухни оснащаются множеством устройств, таких как духовые шкафы, скороварки, электрические грили, тостеры, кофемашины и др., которые менее энергоемкие и цикл их работы короче. Современные приборы, заменяющие традиционные электрические плиты, могут способствовать более равномерному распределению потребления электроэнергии в течение суток, снижая пиковые нагрузки и улучшая общую стабильность электросети.

Для выявления нынешних человеческих привычек в приготовлении пищи и их влияния на электропотребление жилых домов необходимо разработать анкету для опроса жителей многоквартирных домов г. Москва. Обработанные результаты опроса будут использованы в разработке математической модели электропотребления современного жилого многоквартирного дома.

Литература

1. **A.S. Demidenko, S.A. Kudelina and G.V. Shvedov.** “Analysis of the electric loads of residential and public buildings in urban power supply systems.” *Journal of Physics: Conference Series* 1683, 2020, doi 10.1088/1742-6596/1683/5/052016
2. **И.И. Надтока, А.В. Павлов.** Повышение точности расчета электрических нагрузок многоквартирных домов с электроплитами. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки.* 2015. № 2. DOI: 10.17213/0321-2653-2015-2-45-48

*В.С. Товпеко, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В МАТРИЧНОМ ВИДЕ

При решении инженерных задач иногда возникает потребность в получении зависимостей тока от приложенного напряжения через элемент электрической сети. Эти зависимости принято называть вольт-амперными (ВАХ). Чаще всего они формируются в графическом виде, то есть график функции $u=f(i)$ (см. рис. 1).

Однако в программных комплексах моделирования электрических режимов удобнее представление ВАХ в табличном виде, то есть в виде матрицы, размером $M \times 2$, где M — количество выборок точек ВАХ, описывающих функцию $u=f(i)$ на периоде этой функции.

В алгоритме происходит считывание данных из массивов значений напряжения и тока: для каждого момента времени в таблицу выводятся значения с учетом полярности полувольтны (см. рис. 2).

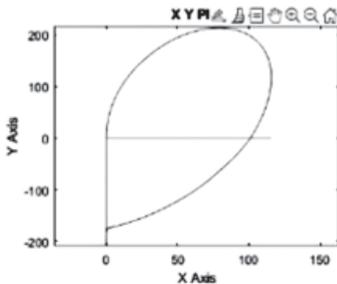


Рис. 1.

Таблица для положительной полувольтны:

Voltage_V	Current1_A
0.38142	-53.402
3.5819	-51.72
6.7245	-50.051
9.8569	-48.375
12.977	-46.702

Рис. 2.

Показанный подход получения ВАХ в табличном виде может быть применен для решения инженерных задач по моделированию электрических режимов.

Литература

1. **Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р.** Управление качеством электроэнергии. М: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения. М.: Издательство стандартов, 2013.

Секция 57

ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

History of energy

*Председатель и секретарь секции:
к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

*Р.Д. Лизогуб, Д.М. Лисицын, студ. ;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ДЖОЗЕФ ГЕНРИ И ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТЕЛЕГРАФ

С незапамятных времён человечество пользовалось различными примитивными видами сигнализации и связи в целях сверхбыстрой передачи важной информации в тех случаях, когда по ряду причин традиционные виды почтовых сообщений не могли быть использованы. Необходимость первого телеграфа заключалась в развитии средств связи для быстрой и эффективной передачи информации, что было важно для управления государственными органами власти и войсками, а также для работы дипломатических представительств и полиции.

Считается, что первый электрический телеграф создал Морзе, потому что именно он первым подал патент на эл. телеграф, однако не упоминается тот факт, что Морзе (его инженерная подготовка была скромной) не стеснялся консультироваться у Генри по техническим проблемам телеграфа.

Принцип работы первого электрического телеграфа Джозефа Генри заключался в использовании электромагнита для передачи звукового сигнала [1]. Также Генри использовал «уплотнённые» магниты, состоявшие из множества витков изолированной проволоки, каждый ряд которой подключался к отдельной батарее. Это позволило существенно увеличить силу тока. Телеграф Генри работал на территории Принстонского колледжа (теперь это Принстонский университет) и передавал сигналы на расстояние в одну милю. Исследования Генри так и не были опубликованы, но именно ему принадлежит честь создания первого в мире электрического телеграфа, по которому сообщения передавались в соседнее здание [2].

В наше время электрические телеграфы используются в некоторых областях, например в железнодорожной или авиационной связи. В России телеграфные сообщения передаются и принимаются при помощи специальных устройств — телеграфных модемов, сопряжённых в узлах электрической связи с персональными компьютерами операторов.

Литература

1. **Храмов Ю.А.** Генри (Henry) Джозеф // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : Наука, 1983.
2. **Мойер Альберт Э.** «Джозеф Генри: Возвышение американского учёного» — Вашингтон, издательство Смитсоновского института, 1997.

*Р.Д. Лизогуб, Т.О. Кивчун, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

М.О. ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКИЙ И СТАНОВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ

80-е годы XIX века активно развивались и противоборствовали между собой различные направления электротехнических знаний. Так называемая «Война токов» охватила научный мир, и непонимание значения переменного тока тормозило его применение. Но кризис в области электротехники прежде всего был связан с трудностью в решении проблемы электропередачи энергии на большие расстояния [1].

В 1884 году, через несколько лет после окончания Дармштадского высшего технического училища, М.О.Доливо-Добровольский был приглашен на работу в фирму Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG). Осенью 1888 г. Михаил Осипович прочел статью Феррариса «Электродинамическое вращение, произведенное с помощью переменных токов», ознакомившись с ошибочным выводом Феррариса о практической непригодности индукционного электродвигателя. В 1888 г., исследуя различные схемы соединения обмоток генератора постоянного тока, он сделал ответвления от трех, отстоящих на равном расстоянии, точек. Так он нашел трехфазную, электрически связанную систему переменного тока: систему из трех переменных токов, сдвинутых по фазе на 120° . В 1888 г. Михаил Осипович спроектировал первый трехфазный генератор переменного тока мощностью 2,2 кВт [2].

В 1891 году на международной выставке во Франкфурте-на-Майне было принято решение осуществить передачу электроэнергии по трехфазной системе на колоссальное для того времени расстояние: протяженность линии составила 170 км. Уже 25 августа 1891 года под руководством М.О.Доливо-Добровольского по линии, соединявшей гидростанцию с нагрузкой, были успешно запитаны более 1000 ламп.

С изобретением трехфазного двигателя и с возникновением техники трехфазного тока начался процесс реконструкции промышленности, транспорта, а затем и сельского хозяйства, процесс массовой электрификации.

Литература

1. **О.Н. Веселовский.** Михаил Осипович Доливо-Добровольский. — Москва, 2021. — 348 с.: ил.
2. **Н.Д. Григорьев.** Михаил Осипович Доливо-Добровольский (к 150-летию со Дня рождения). — Электричество, 2012 г.

Р.Д. Лизогуб, А.В. Доброва, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВКЛАД А.Н. ЛОДЫГИНА В РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Принцип работы первых электрических ламп содержал в себе механизм образования электрической дуги. Их внедрение связано с фамилиями выдающихся ученых: В.В. Петровым, Жаном Бернаром Леоном Фуко, П.Н. Яблочковым. Дуговые лампы обладали рядом недостатков, которые в дальнейшем стали причиной для ограничения использования дугового освещения, а также сыграли немаловажную роль в пользу развивающегося альтернативного способа получения света от теплового действия электрического тока [1].

Появление ламп накаливания сильно повлияло на ход развития и распространения освещения посредством электричества. Предложенная в 1872 году А.Н. Лодыгиным идея значительно удешевила и сделала более безопасным применение электрического освещения в бытовых условиях. Задумка Лодыгина заключалась в замене угольных электродов свечи Яблочкова на нить накала, материалом для изготовления которой изначально стал уголь, позднее замененный на тугоплавкий металл. Такой шаг был оправдан тем, что основной свет лампы рождался от раскаленных электродов угля, а не самой дуги. Появление нити накала в конструкции свечи позволило уменьшить потребление энергии. Так, лампы накаливания в отличие от дугового электрического освещения не требовали использования мощного источника тока, что стало их преимуществом. Вместе со своим сотрудником Дидрихсоном Лодыгин провел опыт по выкачиванию воздуха из лампы накаливания, что увеличило ее срок службы от 40 минут до 2 месяцев [2].

Разработки А. Н. Лодыгина были применены Томасом Алва Эдисоном, сконструировавшим лампу вместе с цоколем, патроном и выключателем. В таком виде, мы знаем самую обычную лампу накаливания, которая служила человечеству весь XX век.

Литература

1. Юдаев И.В., Глушко И.В., Зуева Т.М. История науки и техники: электроэнергетика и электротехника: Учебное пособие для вузов // Издательство Лань. 2024 — 149 с., 150 с.
2. Давыдов А.М. Фрагменты истории науки и техники в задачах по физике. Часть II. Молекулярная физика и термодинамика: Учебно-методическое пособие для студентов бакалавриата и специалитета // Российский университет транспорта. 2022. 22 с.

*Р.Д. Лизогуб, Н.А. Баранов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

В.В. ПЕТРОВ: ИСТОРИЯ И ЗНАЧИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Производственные процессы, связанные с металлом, являлись неотъемлемой частью промышленности, как в прошлом, так и сейчас. До открытия электрической дуги металлы плавил с помощью применения топки. Подобные методы были достаточно топорными и трудоемкими, что не давало возможности максимальной автоматизации. Прогресс в это дело внес Петров Василий Владимирович [1].

Василий Владимирович, создавший крупнейшую по тому времени гальваническую батарею из медно-цинковых элементов, которая позволяла выдавать напряжение до 1700 вольт, проводил большое количество опытов с её возможностями. Помимо исследованных им явлений электролиза, он открыл явление электрической дуги. В ноябре 1802 года профессор обнаружил, что между двумя электродами, при наличии высокого напряжения, превышающего пробивное напряжение среды, возникает названное им «электрическое пламя». В нем Василий Петров смог раскалить, а впоследствии и сжечь, железную проволочку, гвоздь и даже тонкую медную пластинку. Это «пламя», позднее названное «вольтовой дугой», являло собой плазменный канал — ионизированный газ, который и позволял электрическому току проходить через дугу. Постепенно это явление предалось огласке, и ученые начали проводить серию опытов с новооткрытым феноменом [2].

Выяснилось, что электрическая дуга открывает большое количество возможностей для использования: для производства тепла и света, что привело к созданию дуговой лампы, для резки и сварки металлов, для исследования и анализа материалов, для плавки в печах всевозможных материалов. Это стало новым шагом в истории обработки металла.

Литература

1. Академик В.В. Петров. К истории физики и химии в России в начале XIX в. — 252 с., 1940.
2. **Белькинд Л.Д.** Академик Василий Петров. — 229 с., 1936.

Р.Д. Лизогуб, Н.А. Лаптев, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АНДРЕ-МАРИ АМПЕР И ЕГО ПЕРЕВОРОТ В ФИЗИКЕ

В XVIII веке, когда электрические явления начали изучаться систематически, учёные сталкивались с множеством вопросов: как электрические заряды влияют на движение тел? Каковы механизмы взаимодействия между электричеством и магнетизмом? На эти вопросы не могли дать ответов, пока не появился Андре-Мари Ампер, французский физик и математик, который стал одним из основоположников электромагнетизма [1].

До появления Ампера учёные, такие как Бенджамин Франклин и Луиджи Гальвани, уже сделали значительные шаги в изучении электричества. Однако эти открытия не давали полного понимания взаимосвязи между электрическими и магнитными явлениями. В то время как электричество и магнетизм рассматривались как отдельные области науки, Ампер начал систематически исследовать их взаимосвязь, что стало основой для создания новой науки — электромагнетизма.

В 1820 году Андре Ампер сделал своё величайшее открытие: он обнаружил, что электрический ток создаёт магнитное поле. Это открытие стало возможным благодаря экспериментам, в ходе которых он наблюдал, как проводники с электрическим током взаимодействуют между собой в зависимости от направления тока в них. Впоследствии сформулировал закон, который позже стал известен как закон Ампера, описывающий силу взаимодействия между двумя параллельными проводниками, по которым течёт электрический ток [2].

Его работы не только объяснили механизм взаимодействия между электричеством и магнетизмом, но и заложили основы для более глубоких теорий, таких как уравнения Максвелла. Это было новаторское решение, которое изменило представление о природе этих явлений и открыло новые горизонты для научных исследований.

Литература

1. **Белькинд Л.Д.** Андре-Мари Ампер. М.: Наука, 1968.
2. **Дорфман Я.Г.** Возникновение электродинамики Ампера и её место в истории физики. М.: Изд-во АН СССР, 1954.

Р.Д. Лизогуб, В.Б. Прудникова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВКЛАД ГЕРМАНА КАРЛОВИЧА КРУГА В СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНССИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Строительство Транссибирской магистрали кардинально изменило ситуацию, сделав перемещение на восток доступным [1]. Герман Карлович Круг принимал участие в проектировании дороги в качестве инженера-строителя. Особенно известен его вклад в создание Кругобайкальского участка, который проходил вдоль озера Байкал и представлял собой одну из наиболее сложных частей всего проекта, т.к. местность характеризуется резкими перепадами высот, глубокими ущельями и узкими долинами. Это создавало значительные трудности для прокладки рельсов и других сооружений. Здесь Круг продемонстрировал свои инженерные знания, успешно справившись с возведением многочисленных туннелей и мостов в условиях сложного рельефа и сурового климата.

Инженерные решения, предложенные Германом Карловичем Кругом, отличались высокой степенью новаторства и практичности, так при строительстве Кругобайкальского участка он использовал уникальные методы прокладки туннелей, учитывающие особенности местного грунта и климатических условий. Было проложено около 40 тоннелей общей длиной более 10 километров и свыше 500 мостов различной длины. Работы по прокладке тоннелей велись вручную, с использованием взрывчатки и ручного инструмента, что требовало значительных усилий и времени, но это позволило минимизировать риски обрушений и продлить срок службы сооружений [2].

Также стоит отметить активное применение Кругом бетона и железобетона, которые тогда только начинали использоваться в строительстве. Благодаря этому удалось значительно снизить затраты на материалы и увеличить долговечность конструкций. Такие нововведения стали важным шагом вперед в развитии строительной отрасли.

Литература

1. **Иванов И.И.** История железнодорожного строительства в России. М.: Транспорт, 1989.
2. **Петров А.В.** Герман Карлович Круг: жизнь и творчество. СПб.: Наука, 2001.

Р.Д. Лизогуб, И.С. Рогожин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

П. ШИЛЛИНГ И РАЗВИТИЕ ТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ

В первой половине XIX века технологии передачи сообщений были крайне ограничены. Невозможность быстрой передачи информации на дальние расстояния привела к высокому темпу развития телеграфных линий [1].

До изобретения подводного телеграфа сообщение из Лондона в Нью-Йорк доставляли кораблём за 15 дней. В 1811 году русский ученый и инженер — Павел Шиллинг предложил исследовать прохождение электрического тока в проводах, находящихся под водой. Проведенные опыты оказались успешны. Шиллинг первым предложил использовать кабели, изолированные с помощью резины — каучука, для телеграфии и придумал способ укладки кабеля на дно моря. В 1832 году Шиллинг изобрел электромагнитный телеграф, что привело к развитию телеграфных линий [2]. В 1857 году была предпринята первая попытка провести трансатлантический кабель, закончившаяся неудачей, но уже в 1866 году удалось проложить кабель, обеспечивший долговременную связь между Англией и Америкой.

В 1980-х годах были разработаны оптоволоконные кабели, которые работают путем передачи сигнала с помощью постоянного электрического тока высокого напряжения, протекающего по проводнику. Этот ток питает специальные усилители — репитеры, которые расположены на определенном расстоянии друг от друга, по всей длине кабеля. Современные оптоволоконные кабели разработаны на принципе преобразования электрического сигнала в свет с помощью микролазеров. Свет, доходя до конца кабеля, преобразуется обратно в электрический сигнал. Такой сигнал передается на гораздо больших скоростях.

Вклад Павла Шиллинга оказал огромное влияние на современную телеграфию. Благодаря его исследованиям работает вся нынешняя система передачи информации.

Литература

1. «История развития телеграфии: от первых экспериментов до современной оптоволоконной связи»: Иванов И.И., Петров А.А. Журнал: «Телекоммуникационные технологии», № 5, 2019 г.
2. «Роль Павла Шиллинга в создании электромагнитного телеграфа и развитие телеграфных линий»: Сидоров В.В. Сборник: «Научные труды по истории техники», том 12, 2020 г.

Р.Д. Лизогуб, И.Р. Мишин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ВКЛАД ЛЕНЦА В ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ТОКОВ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

В середине XIX века ученые столкнулись с задачей понимания направления электрических токов, вызываемых изменениями в магнитных полях. Без четкого определения направления индукционных токов было невозможно обеспечить надежное функционирование электротехнических систем, в частности электрических машин, таких как генераторы и трансформаторы.

«Экспериментальные исследования по электричеству» Майкла Фарадея показали, что переменные магнитные поля могут индуцировать электрические токи, но не смогли дать чёткого ответа на вопрос о направлении этих токов. Это создавало неопределенность при проектировании и использовании разнообразных электрических машин, так как ученым не хватало надежного инструмента для определения направления индукции.

В 1834 году Эмилий Ленц, основываясь на работах Фарадея, пришёл к выводу, что все эксперименты в области электромагнитной индукции можно свести к законам электродинамических движений и сформулировал правило, которое в наше время известно как «Правило Ленца» [1]. Это правило позволило легко определить направление гальванических токов, появляющихся благодаря явлению электромагнитной индукции. Он провёл множество экспериментов, в которых помещал постоянный магнит рядом с катушкой, намотанной на некий каркас, и наблюдал за появлением в ней тока на амперметре. Ленц утверждал, что индукционный ток всегда будет направлен так, чтобы создаваемое им магнитное поле противодействовало изменениям того магнитного поля, которое его вызвало. В 1830–1840-х годах Ленц активно работал над новыми методами и приборами измерения индукционных токов, а также изучал тепловые эффекты, возникающие в обтекаемом током проводнике [2].

Эта формулировка, во-первых, предоставила четкие инструкции относительно направления индукционных токов, а во-вторых, объяснила механизмы, действующие в природе. Правило Ленца стало основой для дальнейшего изучения и понимания электродинамических явлений.

Литература

1. **Ленц Э.Х.** Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
2. **Лежнева О.А., Ржонницкий Б.Н.** Эмилий Христианович Ленц. М.-Л.: Энергоиздат, 1952.

*Р.Д. Лизогуб, Д.С. Алексеенков, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

НИКОЛА ТЕСЛА: ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, СОВЕРШИВШИЙ РЕВОЛЮЦИЮ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Никола Тесла столкнулся с проблемой эффективного использования переменного тока для двигателей. Он создает двухфазный электродвигатель, который состоял из кольцевого шихтованного статора с двумя парами взаимно-перпендикулярных, распределенных по окружности обмоток с четырьмя выводами и стального ротора-диска со срезанными сегментами. Также существовала модификация для трехфазного электродвигателя, которая заключалась в том, что статор имел 3 пары выступающих полюсов-обмоток, размещенных по окружности станины со сдвигом 60 градусов, и ротор той же продолговатой формы. Источником питания служили двухфазные или трехфазные синхронные генераторы с несвязанными цепями с 4 или 6 контактными кольцами [1].

Для объективной оценки работы двухфазных асинхронных двигателей был приглашен независимый эксперт Вильям Энтони, который испытывал модели мощностью 370 и 920 Вт массой 10 и 25 кг соответственно. По заключению Энтони, КПД образцов достигал 50–60%, что равно КПД двигателей постоянного тока того времени. Энтони также отметил мгновенность реверсивности двигателя при переключении подводных цепей. Тесла создал конкурентоспособные, простые в исполнении и рабочие двигатели переменного тока, которые были уже запатентованы в первой половине 1888 года, а также еще 6 изобретений. Одним из таких изобретений является многофазный трансформатор. Тесла определил его назначение как аппарата для передачи и распределения электроэнергии при помощи многофазных токов. Также Никола Тесла совершил переход от несвязанной многофазной цепи 2р к связанной цепи 1р+1, убрав обратный провод, и сократил количество проводов между источником и электроприемником [2].

Изобретения Николы Теслы помогли распространению и развитию электротехники по всему миру. В дальнейшем был доработан индукционный двигатель. Также спустя 20–30 лет были воплощены в жизнь его самые смелые идеи в самых различных отраслях электротехники. На основе его работ были созданы приборы высокочастотного нагрева, транспорта, телеуправления и резонансного управления.

Литература

1. **Цверева Г.К.** Никола Тесла. Л.: Наука, 1974.
2. **Ржонсницкий Б.Н.** Никола Тесла // Славяне. 1956. № 7.

Р.Д. Лизогуб, А.В. Востоков, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

СВЕЧА ЯБЛОЧКОВА — РЕВОЛЮЦИЯ В ОСВЕЩЕНИИ

Начиная с середины XIX века вопрос качественного освещения стал особенно актуальным: активное развитие городской инфраструктуры и промышленности требовало мощных и надёжных источников света. В крупных закрытых пространствах, на длинных улицах и в производственных помещениях существующие лампы на основе горючего, такие как масляные и газовые, не могли обеспечить безопасного, яркого и долговечного освещения.

Впервые использовать электрическую дугу как источник света решился В.В. Петров. Схема лампы Петрова состояла из двух угольных электродов, которые могли «производить светоносные явления», располагаясь горизонтально друг напротив друга. Но у данной конструкции был существенный недостаток — быстрая эрозия стержней, вследствие которой расстояние между ними увеличивалось, что приводило к нестабильности дуги и угасанию [1]. Ключевое достижение Павла Яблочкова заключалось в модернизации дуговой лампы, получившее название «свеча Яблочкова». Павел устранил все механизмы регулирования углеродного зазора, расположил стержни вертикально, параллельно друг другу и разделил их изоляционным материалом — каолином, расходующимся одновременно с углями. При использовании данного решения один уголь сгорал быстрее, что компенсировалось использованием стержней разного сечения. Такое конструкторское решение обеспечивало равномерное освещение, устраняя необходимость вмешательства человека и применения дорогостоящих устройств регулирования дуги. Простота и надёжность новой дуговой лампы способствовали её массовому применению и популярности в Европе и России, что стало настоящим прорывом в области электрического освещения [2].

Позже патент Яблочкова на данную лампу получил шесть дополнений из-за чего его прозвали «основной патент Яблочкова». Принципы его дуговой лампы послужили началом развития электротехнического освещения, заложили фундамент для дальнейших разработок и остаются значимыми для комфорта городских пространств.

Литература

1. **Белькинд Л.Д.** Павел Николаевич Яблочков: Труды, документы, материалы. М.: Изд во АН СССР, 1954.
2. **Шателен М.А.** Русские электротехники второй половины XIX века. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949.

*Р.Д. Лизогуб, А.М. Гагарин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

Б.С. ЯКОБИ И ЕГО КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ

Русско-немецкий учёный Борис Семенович Якоби (настоящее имя Мориз Герман фон) — автор современного концепта электрического двигателя. Одной из проблем, стоящих перед инженерами того времени, была альтернатива паровому двигателю. Громоздкость паровых машин ограничивала их применение судоходством, стационарным исполнением на заводах и железной дорогой. Кроме этого, принцип преобразования энергии пара в механическую энергию путем возвратно-поступательных передач также был не эффективным решением. Возвратно-поступательный механизм движений, наблюдавшийся при работе электромагнитов, как писал и сам Якоби, не давал развития в практические результаты.

Работая над созданием электродвигателя, Б.С. Якоби посчитал схему преобразования энергии по принципу кривошипно-шатунного механизма не целесообразной. Но существующие модели натолкнули его на возможность создания эффективного конструкторского решения, когда электромагниты размещаются непосредственно на якоре, тем самым, он создал первый электродвигатель с вращающимся валом. Сразу после удачных испытаний, Борис Семенович составляет заявление с предложением о применении своего электродвигателя на практике «для приведения в действие мельницы, лодки или локомотива» и подаёт её Министру народного просвещения [1]. После была создана «Комиссия для производства опытов относительно приспособления электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби», указ о создании которой был издан Николаем I. Сейчас это устройство кажется очень громоздким. Питался он от 69 гальванических элементов и при внушительных габаритах мог развивать мощность лишь в 1 лошадиную силу [2]. Но уже в 1838 году Якоби смог усовершенствовать двигатель так, что он смог уже перевезти 14 человек на лодке против течения Невы.

Якоби состоялся как талантливый преподаватель, вырастивший целую плеяду пытливых исследователей и инженеров. Главной чертой знаменитого учёного стоит считать его убеждение в том, что наука должна работать на человека и приносить ему свои плоды.

Литература

1. Электродвигатель в его историческом развитии: Документы и материалы / Под ред. В.Ф. Миткевича. М.: Изд-во АН СССР, 1934.
2. **Яроцкий А.В.** Борис Семенович Якоби. М.: Наука, 1988.

Р.Д. Лизогуб, И.Д. Мишин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ТОМАС ЭДИСОН И ЕГО МОДЕЛЬ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

В условиях стремительного роста промышленности, стало необходимо использовать надежное и безопасное освещение [1].

До открытия Томасом Эдисоном электрической лампы накаливания мир использовал менее эффективные источники освещения, такие как газовые лампы и свечи, которые не только были дорогими, но и представляли серьезную опасность для жизни и здоровья людей. Эти источники создавали тусклый свет и требовали постоянного внимания и обслуживания, что было особенно проблематично в условиях быстро растущих городов. Использование газовых ламп приводило к частым взрывам и пожарам, что вызывало страх и неудобства у жителей. Это создавало необходимость в надежном источнике света, чем и занялся Эдисон, что в итоге привело к революции в освещении и преобразованию городской жизни [2].

Суть открытия Томаса Эдисона заключается не только в создании лампы накаливания, а в разработке практически применимой и долговечной модели. Эдисон тестировал тысячи различных материалов для создания нити накаливания, пока не нашел углеродное волокно, что стало основой для разработки практической лампы. Нить из такого материала обладала необходимой прочностью и температурой накаливания, чтобы обеспечить яркое и длительное свечение. Также он понял, что для увеличения срока службы нити ее нужно изолировать от кислорода. Эдисон создал для лампы вакуумную колбу, которая замедлила окисление нити, позволив ей гореть значительно дольше. В итоге 20 декабря 1879 года Томас Эдисон запатентовал электрическую лампочку [3]. А уже в 1880 году запустил массовое производство своего изделия. Создание электрического освещения не только улучшило бытовые условия, но и дало толчок к развитию индустриализации, изменив облик городов и увеличив рабочие часы, что подтвердило его статус как одного из величайших изобретателей своего времени.

Литература

1. **Каменский А.** «Томас Эдисон. Его жизнь и научно практическая деятельность» / А. Каменский. — М:ЛитРес: чтец, 2019 — 147 с.
2. **Надеждин Н.** «Томас Эдисон. Человек изобретающий» / Н. Надеждин. — М: Майор, 2010 — 104 с.
3. **Рылов, А.** Томас Эдисон и его патенты / А. Рылов // Энергия: экономика, техника, экология. — 2012. — № 6. — С. 67–69.

Р.Д. Лизогуб, В.С. Бобарыкин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АЛЕССАНДРО ВОЛЬТА: ХУДОЖНИК ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, КОТОРЫЙ ЗАСТАВИЛ ЕГО РАБОТАТЬ НА ЧЕЛОВЕКА

Одной из ключевых фигур, чьи исследования заложили фундамент современной электротехники, является итальянский ученый Алессандро Вольта. В числе его наиболее значимых изобретений — электрофор и, безусловно, вольтов столб.

Электрофор — это устройство, предназначенное для проведения экспериментов со статическим электричеством, позволяющее получать мощные электрические разряды. В своей конструкции Вольта использовал сургучную подушку, металлический диск с изолирующей ручкой из стекла, а также собственный палец и кошку. Принцип действия электрофора основан на многократном усилении электрического заряда, полученного при трении сургуча о шерсть кошки посредством последовательных циклов опускания и подъема металлической пластины [1]. Электрофор наглядно демонстрирует процесс разделения электрических зарядов в проводнике под действием внешнего электрического поля. Идея Вольта заключалась в возможности применения накопленного заряда для различных целей, например, для получения искры в темноте или для зарядки лейденской банки. Электрофор был способен генерировать десятки тысяч вольт.

Однако наибольшую славу ученому принесло другое изобретение. В 1800 году Алессандро Вольта представил миру вольтов столб — первый в истории химический источник постоянного тока. Вольтов столб представлял собой стопку чередующихся кружков из двух различных металлов (например, цинка и меди) и прокладок из ткани, пропитанных соевым раствором (электролитом). Вольтов столб высотой до 50 сантиметров мог выдавать напряжение порядка 50 Вольт. Идея заключалась в том, что электрический ток может быть получен химическим путем, что стало важным шагом в понимании природы электричества [2].

С помощью изобретений Алессандро Вольты были сделаны важные открытия и изобретения: электролиз, электрическая дуга, конденсаторы, электростатические машины, электроскопы и многие другие, которые широко применяются в настоящее время.

Литература

1. **Карцев В.** Приключения великих уравнений. М.: Знание, 1978.
2. **Околотин В.** Вольта М.: Молодая гвардия, 1986.

Р.Д. Лизогуб, Д.И. Якупов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

КУЛОН — МЕРА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Про свойство натертого янтаря притягивать мелкие частички человечество знало еще с древней Греции, но про природу этого странного явления никто ничего сказать не мог на протяжении долгих столетий. Первым в 1600 году разделяет понятия магнетизм и статическое электричество Уильям Гилберт, он же вводит термин «электричество». В 1663 году Отто фон Герике создает электростатическую машину, на которой можно наблюдать не только эффект притяжения, но и эффект отталкивания. В 1723 году Стивен Грей обнаружил, что не все материалы одинаково передают электричество, — электропроводность. Двойную природу электричества обнаруживает Шарль Дюфэ в 1733 году, называя электричество стеклянным и смоляным, а Бенджамин Франклин в 1747 году вводит более привычное нам понятие положительного и отрицательного заряда.

В 1784 году Шарль Огюст Кулон создал крутильные весы — чувствительный прибор для измерения малых сил [1]. Неподвижный шарик заряжался малым зарядом, приводился в соприкосновение со вторым шариком, из-за явления отталкивания одинаковых зарядов, шарик на подвижном «коромысле» отклонялся на определенный угол. Затем ученый изменял угол поворота нити, подкручивая регулируемую головку, и снова проводил измерения [2]. Так как углы поворота шарика были достаточно малы (меньше 40 градусов), то ученый считал, что линейное расстояние между шариками пропорционально угловому. Обработав полученные результаты, он получил, что характеристика силы и характеристика расстояния равны с большой точностью, и тем самым на практике доказал гипотезу «об обратных квадратах» в электричестве. Стоит сказать, что Шарль Кулон считал очевидным, что сила взаимодействия прямо пропорциональна произведению «электрических масс» (величин электрических зарядов).

Таким образом был сформулирован закон Кулона — великое открытие, которое дало старт развитию науки об электричестве. Науки, без которой наша жизнь была бы совсем иной. Поэтому с уверенностью можно сказать, что Кулон — человек, с которого начался современный мир.

Литература

1. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1983. — С. 333. — 982 с.
2. **Филонович С.Р.** Шарль Кулон. М.: Просвещение, 1988. — С. 88 — 111 с.

Р.Д. Лизогуб, Н.А. Балугев, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АЛЕССАНДРО ВОЛЬТА И ЕГО ДОСТИЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

До начала XIX века человечество было лишено надёжных источников электричества. Изобретение такого устройства внесло бы огромный вклад в изучение электротехники, открыло бы новые возможности применения электрического тока. Поэтому многие учёные мира предпринимали попытки изобрести и создать данное устройство.

Алессандро Вольта, заинтересовавшись трудами итальянского анатома и физиолога Луиджи Гальвани, который, проведя опыт с лягушачьей лапкой, обнаружил, что если прикоснуться к ней двумя разными металлами, то она сокращается, поставил под сомнение так называемую теорию Гальвани о «животном электричестве». Он считал, что электричество генерируется отнюдь не животным [1], и разработал «Вольтов столб». Ученый опустил в банку с кислотой две пластинки: одну из цинка, а другую из меди, соединив их проволокой. Между пластинками находилась прокладка из ткани, пропитанная соевым раствором. Он позволял поддерживать химическую реакцию, обеспечивая ионную проводимость между металлическими дисками. Вольтов столб размером около полуметра в высоту создавал напряжение, ощущаемое человеком. Вольта предположил и доказал, что по проволоке протекает электрический ток. Прокладки и диски собирались в столбик для образования последовательного соединения гальванических элементов. Так можно было получить более высокое напряжение на выходе, суммируя напряжения, генерируемые отдельными парами металлов [2]. Это был первый в мире гальванический элемент — изобретен в 1799 году. В 1800 Вольта публично заявляет о своих открытиях на заседании Лондонского королевского общества

Открытие Вольта дало толчок для открытия электролиза в 1800. В.В. Петров в 1803 году сконструировал самый большой образец вольтового столба, состоящий из 4200 медных и цинковых дисков и развивающий напряжение до 1500 Вольт.

Литература

1. **Карцев, Владимир.** Приключения великих уравнений— М.: Знание, 1986. — С. 288.
2. **Храмов Ю.А.** Вольта Алессандро // Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Наука, 1983. — С. 67. — 400 с.

Секция 58

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Electric power stations

Председатель секции: к.т.н., доцент Монаков Юрий Викторович

Секретарь секции: Посохов Николай Олегович

*А. Е. Островский, Н. А. Прасол, студ.;
рук. А. А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время оценка перегрузочной способности трансформаторов существующих подстанций является одной из процедур, проводимых при разработке Схемы и программы развития электроэнергетических систем России (СиПР ЭЭС) на плановый 6-летний период. Оценка перегрузочной способности трансформаторов для СиПР ЭЭС выполняется в соответствии с Приказом Минэнерго России от 8 февраля 2019 г. № 81 [1]. Однако наряду с [1] имеется действующий ГОСТ 14209-97 [2] по оценке перегрузочной способности трансформаторов.

В работе требуется провести проверку перегрузочной способности трансформаторов по двум указанным документам — [1] и [2] и сделать выводы об отклонении результатов проверки по [1] от результатов проверки по [2]. Результаты проверки по [2] приняты за эталонные, так как в [2], в отличие от [1], проверка перегрузочной способности проводится с учетом фактического графика нагрузки трансформатора на подстанции по результатам контрольного дня замеров.

В работе выполнен расчет перегрузочной способности трансформаторов по [1] и [2] для двух существующих подстанций класса напряжения 110 кВ с учетом фактических графиков нагрузки, снятых в зимний и летний контрольные замеры. В результате сопоставления результатов проверки было выявлено, что проверка по ГОСТ [2] может дать увеличение перегрузки трансформатора на 5–15% в зависимости от характеристики фактического графика нагрузки подстанции.

Результаты исследования могут быть использованы при обновлении методики оценки перегрузочной способности трансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, при разработке СиПР ЭЭС.

Литература

1. **Приказ от 8 февраля 2019 г. № 81** «Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229.
2. **ГОСТ 14209-97** (МЭК 354-91). Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.

*В.Д. Битней, асп.; И.В. Парамонов, студ.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц.*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СЕТЕЙ ТЭС

Электрическая энергия, обеспечивающая функционирование различных отраслей экономики, должна соответствовать определённым стандартам качества. Важным аспектом, влияющим на качество электрической энергии, является режим потребления реактивной мощности. Тепловые электростанции (ТЭС) играют значительную роль в энергосистеме РФ, и правильное управление реактивной мощностью становится критически важным для поддержания стабильности и надёжности электрических сетей.

Цель исследования заключалась в анализе влияния режима потребления реактивной мощности на качество электрической энергии сетей ТЭС.

В рамках проекта «Разработка методики выбора оптимальных режимов по реактивной мощности для генерирующих установок ГТУ и ПГУ с помощью цифрового расчетного аппарата» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг. выявлено, что перевод установленных на ТЭС турбогенераторов в режим с потреблением реактивной мощности (режим недовозбуждения) влечет за собой не только негативное влияние на надёжность и эксплуатационные характеристики турбогенераторов, но и на качество сетей низкого напряжения, собственных нужд ТЭС и энергосистемы в целом. Данное явление в первую очередь связано с отклонением напряжения (ввиду невыполнения баланса реактивной мощности) и инъекции гармоник [1].

При этом основными формами воздействия высших гармоник на системы электроснабжения являются:

- увеличение токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;
- снижение эффективности процессов генерации, передачи, использования электроэнергии;
- старение изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы;
- ложная работа РЗА оборудования.

Литература

1. Пак В.Е., Султанов Р.А., Якубова Е.Е. [и др.] Реактивная мощность и ее влияние на напряжение в электрической сети. Проблемы науки, № 7(43), С. 37–39, 2019.

В.Д. Битней, асп.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ УТОЧНЕННЫХ PQ ДИАГРАММ ТГ В РЕЖИМЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

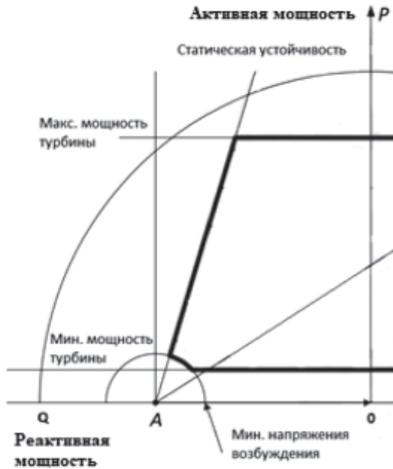


Рис. 1. Построенная PQ диаграмма для ТЗФ-110 на основании разработанного алгоритма

реактивной мощности как для паровых турбин, так и для генерирующих установок ГТУ и ПГУ.

Разработанный ПК позволяет построить уточненные PQ диаграммы в емкостном квадранте. Для этого в ПК необходимо указать основные номинальные параметры ТГ: напряжение, ток статора, ток ротора, $\cos \varphi$, эквивалентное сопротивление генератора и тип охлаждения. Потенциальными заинтересованными компаниями могут выступать генерирующие компании, входящие в состав ООО «Газпром энергохолдинг»: ОГК-2, Мосэнерго, ТГК-1. Также данный продукт может быть интересен для компаний, которые участвуют в проектировании новых и модернизации уже действующих ТГ, например, АО «Силовые машины».

Литература

1. «Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2020–2025 годы». Распоряжение Мэра Москвы № 292-РМ от 30 апреля 2020 года.

В.С. Лунин, Е.А. Васев, студ.;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (СНЭ)

В России на территориях Крайнего Севера или отдаленных территориях системы электроснабжения населенных пунктов представляют из себя изолированные энергосистемы, основу генерации которых составляют дизельные электростанции. Для обеспечения пикового потребления мощности в изолированных энергосистемах (ИЭ) могут применяться системы накопления электроэнергии (СНЭЭ), которые перераспределяют график нагрузки на электростанции ИЭ в течение суток, компенсируют небалансы мощности. В данной работе рассматривается задача анализа применения СНЭЭ — выбор места установки, мощности и емкости СНЭЭ, анализ допустимости электроэнергетических режимов в энергосистеме с подключенной СНЭЭ. Для расчетов установившихся режимов ИЭ использован программный комплекс *NEPLAN*.

В работе рассмотрена ИЭ с максимальным потреблением активной мощности в зимний и летний период соответственно 60 МВт и 23 МВт, энергосистема обеспечивает суммарно территорию с населением около 44 тыс. человек. Генерация ИЭ суммарной мощностью 85,3 МВт состоит из газотурбинной электростанции (ГТЭС) с 3 блоками суммарной мощностью 39,4 МВт, газопоршневой электростанции (ГПЭС) с 8 блоками суммарной мощностью 14 МВт, дизельной электростанции (ДЭС) с 5 блоками суммарной мощностью 31,9 МВт.

В работе проанализирована установка СНЭЭ для трех вариантов места подключения — на шинах 6 кВ трех узловых подстанций 35/6 кВ ИЭ. Выбор мощности СНЭЭ осуществлен по условию полного замещения блоков ДЭС СНЭЭ в зимний период и составляет 15 МВт. Емкость СНЭЭ выбрана по условию возможности обеспечения потребителей от СНЭЭ мощностью 15 МВт в течение 8 часов в период максимальной нагрузки в ИЭ, с запасом емкости на 40% от номинальной (для продления срока службы литий-ионной аккумуляторной батареи в составе СНЭЭ) и составляет 168 МВт·ч. Для трех мест установки СНЭЭ выполнен расчет установившегося режима, оценены допустимость значений напряжения и токов в линиях и трансформаторах, потери мощности. Выбран вариант установки СНЭЭ, обеспечивающий минимальные приведенные затраты.

Результаты данной работы могут найти применение в повышении технической эффективности и экономичности работы ИЭ на территории России.

Е.А. Ушаков, студ.; рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ВЭС

В рамках активного развития возобновляемой энергетики и увеличения доли вырабатываемой ветроэлектростанциями (ВЭС) электроэнергии в электроэнергетической системе (ЭЭС) необходимо учитывать негативное влияние ВЭС на ЭЭС. Стоит отметить возможную повышенную несинусоидальность напряжения на шинах ВЭС. При расчёте гармонических составляющих стандартными методами коэффициент несинусоидальности для высших гармоник может превышать установленные ГОСТ [1] значения, при этом не учитывается фильтрующее воздействие поперечной ёмкости кабельных линий (КЛ) коллекторной сети (КС) ВЭС. Учёт шунтирующего действия КЛ КС ВЭС при расчёте коэффициента несинусоидальности может значительно снизить стоимость технических мероприятий по обеспечению параметров качества электроэнергии на шинах ВЭС — цена фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ), устанавливаемых на шинах ВЭС для компенсации высших гармоник напряжения, может быть уменьшена, либо установка ФКУ может вовсе не потребоваться.

Целью исследования является оценка несинусоидальности напряжения на выводах ВЭС с учётом шунтирующего действия КС ВЭС.

В рамках исследования были проведены расчёты в программном обеспечении для расчета электромагнитных переходных процессов *EMTPWorks* составляющих напряжения высших гармоник. Для этого была собрана расчетная модель электрической схемы КС ВЭС. В качестве объекта исследования в работе была выбрана ВЭС с 3 ветроэлектрическими установками (ВЭУ) мощностью 6,25 МВт каждая, соединёнными последовательно с помощью КЛ 35 кВ. По результатам проведенных расчётов было установлено, что шунтирующий эффект КС ВЭС усиливается при увеличении порядка гармоники. Для самой дальней от повышающего трансформатора ВЭУ значение коэффициента несинусоидальности снизилось на 5% для гармоники 5-го порядка, 57% для 26-го порядка, 76% для 40-го порядка.

Результаты исследования могут быть использованы для уточненного расчета высших гармоник на шинах ВЭС и разработки технических мероприятий по обеспечению качества электроэнергии по [1].

Литература

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения — Москва, Стандартинформ, 2014. — III, 15 с.

К.П. Тумасов, студ.; рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГБЛОКА 300 МВт С ЗАМЕНОЙ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИНЫ И УВЕЛИЧЕНИЕМ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ДО 330 МВт

В настоящее время средний возраст энергоблоков тепловых электростанций в России составляет около 32 лет с тенденцией к росту. В энергосистеме России ежегодный прирост потребления электроэнергии и мощности составляет 1,5–2%, требуется увеличение объемов генерации. Целью данной научной работы является анализ технических мероприятий, которые проводятся в рамках модернизации конденсационного энергоблока 300 МВт с увеличением установленной мощности.

Объектом исследования является один из энергоблоков Костромской ГРЭС установленной мощностью 300 МВт введенный в эксплуатацию в 1970 году. Нарботка энергоблока превысила 310 тыс. часов при номинальном парковом ресурсе в 220 тыс. часов [2]. Модернизация энергоблока производится по программе КОММод [1]. Проект модернизации использует только отечественное паротурбинное оборудование и предусматривает помимо замены оборудования улучшение показателей экономической эффективности. Современные технические решения, использованные в ходе реконструкции, позволяют увеличить мощность энергоблока на 10%, с 300 до 330 МВт, и снизить удельный расход топлива на выработку электроэнергии на 4% [2].

Перечень основных работ по модернизации энергоблока включает:

- замена паровой конденсационной турбины;
- замена трубопроводов острого пара, промежуточного перегрева, питательной воды технологического соединения «котел-турбина»;
- модернизация (замена) системы возбуждения и релейной защиты и автоматики, регистратора аварийных событий;
- замена дымососов рециркуляции газов;
- частичная замена внутритурбинных трубопроводов, контрольно-измерительных приборов и автоматики, связанная в том числе с изменением трассировки/техническим состоянием.

Результаты работы помогут прогнозировать потенциал увеличения установленной мощности энергоблоков на существующих тепловых электростанциях в энергосистеме России.

Литература

1. **Приложение 19.3.** Регламент проведения конкурентных отборов мощности // Ассоциация НП Совет Рынка: [сайт] — 2024. — URL: <https://www.np-sr.ru/ru/regulation/joining/reglaments/1986> (дата обращения: 16.11.2024 г.)
2. **АО «Интер РАО-Инжиниринг»:** офиц. сайт. — URL: <https://irao-engineering.ru/ru/press-center/energoblok-3-kostromskoy-gres-ostanovlen-na-modernizatsiyu/> (дата обращения: 16.11.2024 г.)

А.В. Куропаткина, студент; рук. В.А. Трофимов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЛЕРОВ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Актуальность темы связана с растущей ролью цифровых подстанций, основанных на протоколе МЭК 61850, в современных энергосистемах. Протоколы Generic Object-Oriented Substation Events (GOOSE) и Manufacturing Message Specification (MMS) обеспечивают передачу данных в реальном времени, однако увеличение количества сообщений и объема информации может привести к перегрузке контроллеров и снижению надежности системы. Исследование позволяет выявить зависимость загрузки контроллера от параметров передачи данных, оптимизировать настройки и повысить эффективность работы подстанций.

Целью данной работы является исследование зависимости загрузки и скорости обработки информации контроллера в зависимости от количества и типа сообщений, передаваемых по протоколам GOOSE и MMS, а также от объема данных, передаваемых в одном сообщении.

Исследование включает построение графиков, моделирование и анализ данных с целью выявления закономерностей и рекомендаций по оптимизации работы контроллера при передаче данных по данным протоколам. Анализ выполнялся с использованием программного обеспечения OMICRON IEDScout.

В результате проведенного исследования были выявлены важные закономерности, связанные с влиянием количества и типа сообщений протокола МЭК 61850 на загруженность контроллера. Графики показали, что с ростом количества сообщений загрузка контроллера увеличивается нелинейно, причем сообщения типа GOOSE оказывают более значительное влияние на загрузку по сравнению с MMS, что связано с их особенностями передачи и обработки. Также к значительному росту загруженности контроллера приводит увеличение количества сигналов в одном сообщении.

Полученные результаты подчеркивают необходимость тщательной настройки параметров информационного обмена ПТК. Результаты исследования могут использоваться при разработке структурных схем автоматизированных систем управления электростанций и подстанций.

Литература

1. **СТО 56947007–25.040.30.309-2020** Корпоративный профиль МЭК 61850. — Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».

О.А. Павлова, студ.;
рук. В.А. Трофимов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ ВНЕДРЕНИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Рост числа электромобилей требует создания развитой зарядной инфраструктуры [1]. Доступность зарядных станций в жилых комплексах (ЖК) позволяет владельцам электромобилей комфортно и беспрепятственно заряжать свои транспортные средства. Поэтому при проектировании и выборе электрооборудования новых ЖК необходимо учитывать необходимость в электрических зарядных станциях (ЭЗС) и предусматривать достаточное количество зарядных мест, удобный доступ к ним и соответствующую инфраструктуру.

Современные ЭЗС могут быть интегрированы в «умные» сети, что позволяет оптимизировать потребление энергии, прогнозировать нагрузку и управлять зарядкой в режиме реального времени. Эффективное управление потреблением ЭЗС позволяет снизить номинальную мощность трансформаторов на подстанциях, вновь проектируемых ЖК, а также внедрить ЭЗС в существующих ЖК.

Для оценки параметров системы электроснабжения и выбора электрооборудования, а также анализа различных вариантов размещения и подключения зарядных станций была разработана расчетная модель в программе Excel. Расчетная модель позволяет вводить такие исходные данные как: суточные графики электрической нагрузки ЖК, графики заряда электромобилей и количество зарядных станций. Функциональные возможности расчетной модели включают автоматизированный расчет нагрузки на трансформаторы и на зарядную инфраструктуру, а также моделирование различных сценариев использования электрической энергии в жилом комплексе.

Перспективы развития расчетной модели включают разработку модулей для учета новых технологий зарядки, таких как медленная, быстрая или беспроводная зарядка. Таким образом, расчетная модель для анализа систем электроснабжения может стать важным инструментом для создания эффективной зарядной инфраструктуры в жилых комплексах.

Литература

1. **Распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 N 2290-р** «Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года».

М.Х. Лахлах асп.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ИЗОЛЯЦИЮ ЛИНИЙ ПОДЗЕМНЫХ СЕТЕЙ

В последние годы в Российской Федерации заметно увеличилось количество повреждений кабельных линий (КЛ) напряжением 110–500 кВ и их арматуры, что привело к огромным экономическим потерям [1]. Исследования причин повреждений в высоковольтных КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена показали, что коммутационное перенапряжение с очень крутым фронтом (КПОКФ), возникающее в результате коммутаций в комплектных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией (КРУЭ), является одной из наиболее важных причин аварий [2]. В данной работе исследовалось влияние амплитудного значения и продолжительности КПОКФ на изоляцию высоковольтных КЛ в программно-вычислительном комплексе ЕМТР-RV.

При включении или отключении разъединителей КРУЭ генерируется КПОКФ, которое имеет волновой характер и распространяется по внутри КРУЭ и гальванически связанному электрооборудованию. Характеристики КПОКФ изменяются в зависимости от места и времени распространения. В этом исследовании были рассмотрены четыре импульса КПОКФ с различными характеристиками при их распространении по короткой КЛ, подключенной к КРУЭ 500 кВ.

Результаты исследований показали, что импульсы КПОКФ с высокой амплитудой и короткой продолжительностью представляют большую опасность для изоляции кабеля по сравнению с импульсами с низкой амплитудой и длительной продолжительностью. Длительность импульса КПОКФ приводит к уменьшению его затухания при распространении по КЛ. Эти результаты полезны инженерам, заинтересованным в анализе причин повреждений высоковольтных КЛ, поскольку они помогают заблаговременно принимать превентивные меры.

Литература

1. **Гринь А.В., Мнека А.С.** Опыт монтажа кабельных линий 500 кВ с кабелями с полиэтиленовой изоляцией на Бурейской ГЭС, Загорской ГАЭС, Богучанской ГЭС, КВЛ 500 кВ ПС «Западная» — ПС «Очаково» // Кабели и провода. 2020. № 6(386). С. 26–32.
2. **Борисов, Р.К. и др.** Исследование высокочастотных импульсных перенапряжений на Саяно-Шушенской ГЭС. — Электричество, 2023, № 1, с. 36–43.

М. Шекари, асп.; рук. Д.Н. Асаинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ БРОСКОВ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ ТОКОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Включение силового трансформатора, сопровождающееся броском намагничивающего тока (БНТ), представляет собой важный аспект, влияющий на стабильность электрической сети. Данный процесс может приводить к значительным перепадам напряжения, которые в свою очередь зависят от соотношения мощностей генерации и мощностей включаемого трансформатора [1]. Анализ подвергнуты результаты электромагнитных переходных процессов (ЭМПП) для методов ограничения БНТ при включении силового трансформатора с помощью управляемой коммутации (УК) и токоограничивающего резистора (ТОР). Математическое моделирование произведено в программе EMTP-RV. Разработаны математические модели 4 газотурбинных установок (ГТУ) мощностью 25860 кВт каждая и номинальным напряжением 10,5 кВ, трансформатор мощностью 25 МВА и напряжением 10/35 кВ, насосный агрегат (НА) мощностью 2350 кВт, 2 дожимных компрессора мощностью по 4000 кВт каждый, и статическая нагрузка мощностью 54000 кВт. На рис. 1а и 1б представлены расчетные зависимости БНТ, расчетные зависимости напряжения на шине ГТУ при использовании двух методов соответственно.

На рис. 1 представлены изменение напряжения на шинах ГТУ и БНТ при включении трансформатора в момент времени 11 с. Оба метода обеспечили успешное ограничение БНТ. Метод ТОР обеспечил меньшее значение БНТ и более быстрое восстановление напряжения. Результаты исследований применяются при проектировании электрических сетей, где необходимо применять меры по ограничению БНТ силовых трансформаторов.

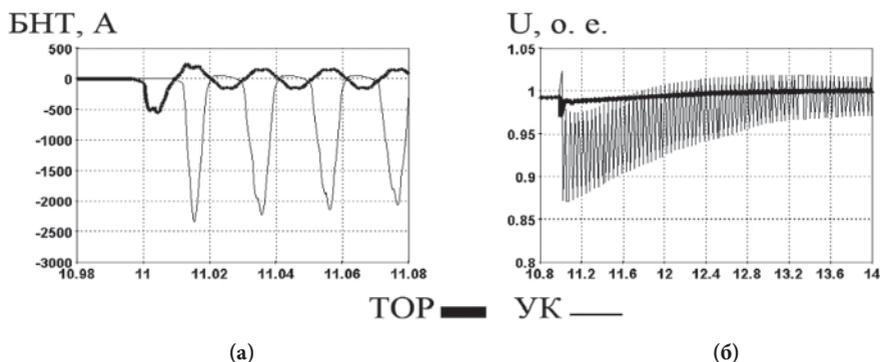


Рис. 1. Величины БНТ (а), изменение напряжения на шине ГТУ (б) при пуске трансформатора

Литература

1. **Pabla, A.S.** Electrical Power Systems, Wiley, 2017.

М.М. Киприянова, асп.; рук. А.П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ FRA-МЕТОДОМ

Метод частотных характеристик (МЧХ) или FRA-метод используется для определения деформаций обмоток и магнитопровода силовых трансформаторов [1, 2]. Метод основан на сравнении полученной при измерении частотной характеристики (ЧХ) с базовым значением. Согласно [1] в качестве базовой характеристики рекомендуется использовать данные, полученные на заводе-изготовителе или при монтаже трансформатора. Вместе с тем, для трансформаторов со сроком службы выше нормативного такие данные отсутствуют. Следует отметить, что выбор базовой ЧХ существенно влияет на анализ МЧХ.

Проведен сравнительный анализ результатов измерений ЧХ однотипных трансформаторов разных заводов изготовителей. Было выявлено, что трансформаторы идентичных конструкций, изготовленные одним производителем и имеющие близкие года выпуска, имеют практически одинаковые частотные характеристики. Для однотипных трансформаторов различных производителей ЧХ могут заметно отличаться. В результате исследования разработан метод построения базовой кривой на основании данных однотипных трансформаторов одного завода изготовителя и близких годов выпуска. Кроме того, стандартное отклонение (SD) не должно превышать 1, а в высокочастотной зоне (выше 1000 кГц) — 2. Параметры базовой характеристики могут быть определены как среднее квадратическое значение $\overline{X(f)}$ для каждой частоты измерения по формуле (1).

$$\overline{X(f)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i(f)^2}{n}}, \quad (1)$$

где n — количество трансформаторов, используемых для определения базовой ЧХ, $X_i(f)$ — значение амплитудно-частотной характеристики в точке i с частотой f .

Эффективность данного подхода подтверждена определением дефектов трансформаторов 10 и 500 кВ.

Литература

1. **ГОСТ Р 59239-2020** (МЭК 60076-18:2012). Трансформаторы силовые и реакторы. Метод измерения частотных характеристик. М.: Стандартинформ, 2021, 50 с.
2. **СТО 34.01-23.1-001-2017** «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

М.М. Киприянова, асп.; рук. А.П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Идентификация дефектов силовых трансформаторов на основании результатов обследований различными диагностическими методами является одной из сложных и актуальных задач современной диагностики. В настоящее время диагностирование и дефектация электрооборудования в подавляющем большинстве случаев проводится экспертом. Для составления автоматизированной системы оценки необходимо установление взаимосвязей между типами дефектов и диагностическими параметрами (алгоритмов идентификации дефектов) [1, 2].

В результате исследования разработана система (алгоритм) хранения информации о проявлении 14-ти наиболее характерных дефектов (КЗ контура, ЧР, увлажнение изоляции и др.) по результатам эксплуатационного контроля и комплексных диагностических обследований. Уровень обучения нейронной сети при использовании данной системы хранения информации составил 97%. С помощью системы подтверждены следующие дефекты. Например, для трансформатора ОДГ-35000/150 аналитически установлено, что вероятность загрязнения изоляции составляет 99%. Во время проведения ремонтных работ трансформатора обнаружено загрязнение изоляции частицами лака, металлическими шариками и продуктами старения (зашламления) масла.

Для трансформатора ТДЦ-125000/110 результаты расчета сети установили наличие короткозамкнутого контура с тепловым нагревом с вероятностью 99%. В ходе осмотра и измерений изоляции элементов магнитной системы трансформатора во время ремонта выявлены замыкания нижних ярмовых балок со стороны ВН и НН на бак трансформатора.

Полученные данные свидетельствуют о возможности применения разработанной системы хранения диагностической информации для составления алгоритмов идентификации дефектов.

Литература

1. **Давиденко И.В., Овчинников К.В.** Алгоритм анализа повреждаемости силовых трансформаторов и примеры его реализации / Электро. 2014. № 4. С. 13–17.
2. **Казаков М.С., Давиденко И.В.** Обзор интеллектуальных систем диагностики электрооборудования / Труды первой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института, Екатеринбург. 2016. С. 240–243.

А.А. Гаврилов, студент;
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н. («НИУ МЭИ», г. Москва)

УПРАВЛЯЕМАЯ КОММУТАЦИЯ. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Применение современных методов мониторинга остаточной намагниченности магнитопроводов трансформаторов позволяет определить условия оптимального пуска трансформатора для снижения броска тока намагничивания. Броски тока намагничивания, возникающие при включении трансформаторов на холостой ход, являются причиной кратковременного падения напряжения на питающих шинах, что может приводить к ложной работе защит по напряжению или, например, отключению асинхронных двигателей (АД) [1]. Такое явление особенно критично для малых изолированных энергосистем.

Отслеживание остаточной намагниченности позволяет определить оптимальный момент для включения трансформатора, когда разница напряжений источника и остаточной намагниченности трансформатора будет минимальной. Такой подход позволяет снизить броски тока намагничивания трансформатора. Проведенное моделирование режимов включения трансформаторов с учетом остаточной намагниченности выполнено в программном комплексе *EMTP_RV*. В состав модели вошли 2 силовых трансформатора 35/6 кВ, 3 газотурбинные установки 6 кВ, 8 асинхронных двигателей 6 кВ и вакуумные выключатели. Моделирование показало, что этот метод обеспечивает более плавное включение оборудования и снижает амплитуду провалов напряжения на шинах [2]. Это предотвращает отключение АД и уменьшает износ оборудования.

В перспективе применений управляемой коммутации для снижения бросков тока намагничивания трансформаторов позволит повысить устойчивость работы изолированных энергосистем, а также снизить затраты на аварийное обслуживание.

Литература

1. **Парахин Н.Н.** «Электрические аппараты. Теория и практика». Москва: Энергоатомиздат, 2019.
2. **Бакшаев Н.В.** «Электроснабжение промышленных предприятий». СПб: Питер, 2021.

*А.А. Гаврилов, А.А. Иванов, С.А. Щербаков, студ.;
рук. А. Лхамдондог, к.т.н. («НИУ МЭИ», Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Насыщение магнитопровода измерительных трансформаторов тока (ИТТ) может приводить к искажению измеряемых параметров и снижению надежности системы [1].

Ручное исследование процессов насыщения требует больших затрат времени и усилий, а проведение реальных испытаний часто ограничивается высокой стоимостью и сложностью организации экспериментов. Моделирование позволяет имитировать разные режимы функционирования ИТТ, включая процессы насыщения, что углубляет понимание их поведения в различных режимах [2].

Моделирование проводилось в программном комплексе Ansys Electronics Desktop, в котором возможно создание виртуальных моделей ИТТ с учетом характеристик магнитных материалов, геометрии магнитопровода и параметров первичных цепей. С помощью созданной и верифицированной модели были проведены такие опыты, как расчет вольт-амперных характеристик, анализ влияния остаточной намагниченности и оценка влияния насыщения на точность измерения тока [3].

Применение расчетных моделей на этапе проектирования измерительных трансформаторов позволит минимизировать риски возникновения ошибок при выборе и дальнейшей эксплуатации оборудования, обеспечивая высокую точность измерений и устойчивость системы электроснабжения в аварийных режимах. Это, в свою очередь, способствует повышению безопасности и эффективности эксплуатации энергетических объектов.

Литература

1. **ГОСТ Р 58669–2019.** Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты.
2. **ПНСТ 283-2018.** Трансформаторы измерительные. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока.
3. **Басов К.А.** ANSYS. Справочник пользователя. — М.: ДМК Пресс, 2010. — 642 с.

Д.С. Наурзалинов, студ.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Оборудование энергетических систем становится все более сложным и многофункциональным, что требует от специалистов в данной области глубоких теоретических знаний и практических навыков. Традиционные методы обучения устарели и не способны удовлетворить потребности современного рынка труда.

Современная подготовка студентов должна учитывать цифровые возможности образовательной среды [1]. Новейшие тенденции образования предполагают использование актуальных технологий в образовательном процессе студентов, таких как: моделирования, цифровых двойников, автоматизирования технологических процессов. Использование для подготовки специалистов энергетической отрасли виртуальных установок, имитирующих работу реальных объектов — важное и актуальное направление в настоящее время.

В НИУ МЭИ для подготовки студентов по направлению 13.03.02 разработан и создан учебный макет фрагмента подстанции (ПС) ПС220/10 кВ. Макет отражает современные подходы к управлению и цифровизации в энергетике. Макет создан с применением аддитивных технологий, в его составе применяются современные промышленные контроллеры. Удобное исполнение данной установки позволяет наглядно воспроизводить процессы переключения коммутационного оборудования на открытой распределительной установке (ОРУ), имитируя работу на реальном объекте. Визуализация происходит не только посредством работы миниатюрных моделей, но и на специальной панели, отображающей мнемосхему ОРУ, как на реальных современных объектах электроэнергетики.

Таким образом, использование инновационных методов позволит упростить, ускорить и сделать более наглядным процесс обучения. В итоге большее количество студентов смогут быстро и эффективно освоить принципы работы своей специальности, получить необходимые навыки, которые соответствуют современным тенденциям развития сферы электроэнергетики.

Литература

1. **Чучалин А.И.** Инженерное образование в эпоху индустриальной революции и цифровой экономики // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 10. С. 47–62.

К.Г. Глазунов, студ.; рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ НА НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОФАЗНО ЭКРАНИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ

В отечественных электрических сетях напряжением 20 кВ преимущественно используются пофазно экранированные кабели, прокладываемые треугольником без просвета. За рубежом кабели часто прокладывают с просветом, что может снижать их допустимую токовую нагрузку. С помощью программы ELCUT, использующей конечно-элементный метод моделирования электромагнитных и тепловых полей, проведено исследование нагрева жильной изоляции кабелей с целью уточнения длительно допустимых токов в кабелях АПвПу-1х500/70-20.

На рисунке приведены результаты расчета температурных полей при токе в фазных жилах 615 А, которым соответствуют токи в экранах 280 А. Расчетные значения температуры в наиболее нагретой точке жильной изоляции 87,6°С, что соответствует предельно допустимой для сшитого полиэтилена температуре. Расчетное значение температуры экранов 82,3°С. Если кабели проложить с просветом 70 мм, как рекомендуют зарубежные производители, то при токе в кабелях 615 А, токи в экранах увеличиваются до 470 А, а их температура возрастает до 93,3°С. Увеличение температуры экранов приводит к увеличению температуры фазных жил до 98,5°С. Таким образом, прокладка кабелей с увеличенным просветом приводит к снижению срока их службы, в соответствии с «правилом 6 градусов» более чем в 2 раза. Допустимый ток для исследуемого кабеля при прокладке с просветом 70 мм снижается с 615 до 585 А, т.е. на 5%.



Рис. 1. Температурные поля при прокладке кабелей без просвета (а) и с просветом 70 мм (б).

Разработанная конечно-элементная модель позволяет учесть процессы теплообмена между кабелями и уточнить значения допустимых токов. На основе сделанных расчетов можно сделать вывод о снижении пропускной способности кабельных линий при прокладке кабелей с просветом.

Литература

1. ELCUT. Новый подход к моделированию полей. — Режим доступа: www.urlhttps://elcut.ru/. — 24.11.2024.

Секция 59
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.И. Милосердов, студ.;
рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РАЗРЯДНОГО ПРОМЕЖУТКА НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОЗОНАТОРА

Озон широко применяется в качестве экологически чистого окисляющего и дезинфицирующего вещества. В промышленности для генерации озона используется барьерный разряд [1].

Генератор озона представляет собой систему электродов, один или оба из которых покрыты диэлектриком, на которую подаётся переменное напряжение. В зазор между электродами подаётся кислород или воздух. Сам зазор стремятся сделать как можно меньше, что при больших площадях электродов неизбежно приводит к его неравномерности, которая может влиять не только на газораспределение [2], но и на локальные изменения температуры рабочего газа, приводящие к распаду озона.

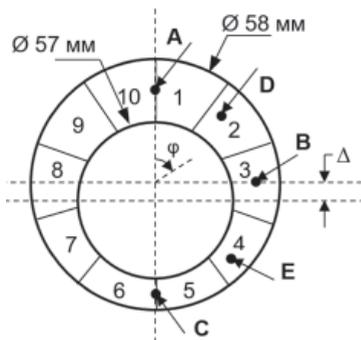


Рис. 1. Поперечное сечение генератора озона

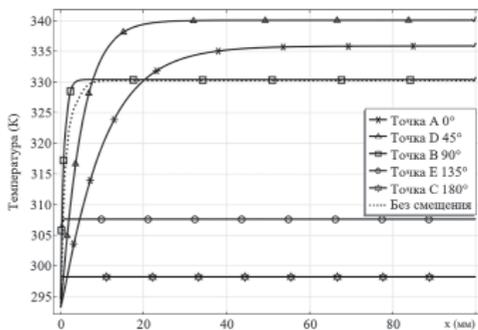


Рис. 2. Температура в характерных точках при смещении $\Delta=0,4$ мм

При помощи созданной компьютерной модели [2] были оценены тепловые процессы в генераторе озона с неоднородным разрядным промежутком, поперечное сечение которого представлено на рис. 1. На рис. 2 представлены распределения температуры газа в характерных точках генератора озона. Видно, что после установления течения газа (на расстоянии от входа в генератор $x > 50$ мм) разброс температуры относительно идеального генератора не значителен даже при существенной несимметрии системы.

Литература

1. Лунин В.В. и др. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов. М.: МАКС Пресс, 2008, 216 с.
2. Милосердов А.И., Лысов Н.Ю., Дмитриев Д.Д., Клубков А.В. Влияние несоосности коаксиальных электродов барьерных озонаторов на эффективность синтеза озона // Электротехника. 2024. № 8. с. 51–56.

*О.И. Коржова, студент;
рук. В.В. Воеводин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАРБИД-КРЕМНИЕВЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

В последние годы высоковольтные карбид-кремниевые (SiC) МОП-транзисторы нашли широкое применение в различных отраслях электротехнологий, так как они обладают рядом преимуществ [1]: упрощение топологии преобразователей, отсутствие явления вторичного пробоя, возможность быстрого переключения и т.д. Максимальное рабочее напряжение на одном транзисторе такого типа может достигать всего 3,3 кВ, поэтому для создания установок, рассчитанных на большее значение напряжения, необходимо их последовательное соединение, которое в свою очередь связано с проблемой неравномерного распределения напряжений на транзисторах в каскаде [2].

В ходе работы проведено исследование причин возникновения дисбаланса напряжения на последовательно соединенных высоковольтных SiC МОП-транзисторах. Выполнен сравнительный анализ стратегий балансировки напряжения, а также выбраны наиболее эффективные из рассмотренных вариантов для дальнейшей реализации в источниках питания разряда.

Литература

1. **Р. Шульга.** Приборы на основе карбида кремния — основа преобразователей для электроэнергетики // Силовая электроника. — 2021. — № 6. — С. 12–16.
2. **Alves L.F.S. et al.** Advanced Voltage Balancing Techniques for Series-Connected SiC -MOSFET Devices: A Comprehensive Survey // Power Electronic Devices and Components. — 2023. — С. 100055.

*Е.А. Мартынов, студ.;
рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НАЗЕМНЫХ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время одним из наиболее острых нерешённых вопросов в области молниезащиты является возникновение незавершённых восходящих разрядов с выступающих элементов конструкций [1]. Причиной их возникновения является усиление электрического поля у элементов с малым радиусом кривизны в поле грозового облака и зарядов канала молнии, ударившей в непосредственной близости от объекта. Эта проблема является критической для объектов нефтегазовой отрасли, где возникновение разрядов может приводить к поджигу взрывоопасных газовых смесей.

Для изучения вероятности возникновения разрядов, способных поджечь взрывоопасные газы, проводились эксперименты [2], в которых с помощью стримерных разрядов определялась минимальная энергия поджига пропан-воздушной смеси. В результате были получены значения, превосходящие минимальные энергии поджига, установленные в нормативной документации. Это показывает, что процесс возникновения опасных разрядов является вероятностным и зависит от множества факторов.

Для оценки вероятности возникновения опасных незавершённых разрядов на кафедре ТЭВН разработана вероятностная методика [3]. Данная методика опирается на критерий возникновения лидерного разряда М. Курея и дополняет его. Отмечено, что учёт воздействия стримерных разрядов увеличивает значение вероятности воспламенения взрывоопасных газов более на 30%.

В дальнейшей работе запланирована экспериментальная проверка полученных расчётным путём результатов с помощью экспериментально-измерительного комплекса «ГРОЗА» и генератора импульсных напряжений.

Литература

1. **Дегтярев Д.В., Печеркин А.С.** Требования промышленной безопасности в области молниезащиты резервуарных парков нефти и нефтепродуктов // Безопасность труда в промышленности. № 2. 2010. С. 28–31.
2. **Mazzetti C., Flisowski Z., Stanczak B.**, Investigation of upward discharge parameters in correlation with ignition of explosive mixtures at impuls voltages. — Proc. of the 21st ICLP, Germany, 1992, pp. 463–468.
3. **Гундарева С.В., Калугина И.Е., Темников А.Г.** Расчёт возникновения опасных незавершённых разрядов с взрывоопасных объектов во время грозы // Электричество. № 10. 2016. С. 17–24.

А.В. Галимова, асп.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В КОРОТКИХ ВОЗДУШНЫХ РАЗРЯДНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ

Электрический разряд в воздухе — источник химически активных частиц (радикалов), которые затем участвуют в реакциях в газе и на границах разрядных промежутков (РП) [1]. Это позволяет применить разряд в природоохранных и промышленных технологиях, медицине и сельском хозяйстве [2].

Чтобы обеспечить высокую концентрацию активных радикалов, ограничив затраты энергии, используются короткие РП с однородным электрическим полем. В них разряды возникают при невысоких значениях начальных напряжений U_0 . Благодаря малой длине D таких РП, начальная напряжённость $E_0=U_0/D$ поля может достигать десятков кВ/см. Чтобы понять, в какой форме при этом возникают разряды (лавиной или стримерной), автор оценила значения E_0 , а также значения критического пути $x_{кр}$ электронных лавин при начальной напряжённости. Были использованы приближённые аналитические выражения и методики, где разряд имеет стримерную форму, если $x_{кр} < D$ [1]. Результаты приведены в табл. 1. Атмосферные условия нормальные.

Таблица 1. Расчетные значения начальной напряжённости ЭП и критических путей лавин

D , см	0,025	0,050	0,075	0,100
E_0 , кВ/см	64,977	53,122	47,869	44,739
$x_{кр}$, см	0,0489	0,102	0,157	0,213

Из табл. 1 видно, что при $D = 0,025 \div 0,1$ см $x_{кр} > D$, и в рассмотренных РП разряд имеет лавинный характер. Этот вывод предварительный, поскольку для расчётов использованы приближенные методики. В дальнейшем он будет проверен при помощи уточнённой математической модели [3].

Литература

- 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.
- Лысов Н.Ю.** Синтез озона в барьерном разряде: учеб. пособие / Н.Ю. Лысов, А.Г. Темников, М.В. Соколова и др. — М.: Издательство МЭИ, 2023.
- Галимова, А.В.** Математическое моделирование электронных лавин в воздухе для уточнения условий лавинно-стримерных переходов / А.В. Галимова, А.А. Белогловский, С.В. Белоусов, Н.А. Лебедева // Промышленная энергетика. 2024. № 4. С. 43–50.

П.К. Цепалин, студ.; рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НОСОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В носовых обтекателях летательных аппаратов, подверженных ударам молнии, размещается чувствительное радиоэлектронное оборудование. Для защиты от ударов молнии применяются такие способы, как металлизация поверхности и установка различных молниеотводов. Однако, металлизация поверхности обтекателя ухудшает его радиопрозрачность, поэтому установка молниеотводов предпочтительнее [1].

На носовых обтекателях первых самолетов устанавливались молниезащитные полосы из алюминиевой фольги, но они были одноразовыми и могли повредить обтекатель ударной волной при срабатывании [1]. Позднее были разработаны полосы из металлического порошка, которые обеспечивали лучшую радиопрозрачность, но также требовали замены после срабатывания и были подвержены коррозии [1]. Сплошные металлические полосы, устанавливаемые на обтекатель, защищают от разрядов молнии, но создают помехи. Еще один способ молниезащиты — это полосы из металлических кнопок, однако они имеют сложную конструкцию и не могут быть окрашены для защиты от коррозии [1].

На кафедре ТЭВН проводилось исследование эффективности различных способов молниезащиты носовых обтекателей с применением установки «ГРОЗА». В результате было получено, что сигналы, воздействующие на модель антенны в случае применения сегментных молниеотводов в среднем имеют более высокую частоту, чем в случае применения полосовых молниеотводов, из-за возможности возникновения искровых разрядов между сегментами. Поэтому выбор конструкции молниеотвода и расстояния между сегментами является важным для проектирования эффективной молниезащиты [2].

Планируется дальнейшее исследование электромагнитных помех, индуцируемых атмосферным электричеством на антенных устройствах под моделью носового обтекателя, приближенной к реальным размерам.

Литература

1. **Gao, Ji & Zhang, Xiaogang.** (2023). Design of Civil Aircraft Radome Based on Lightning Protection. *Journal of Physics: Conference Series*.
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.

О.В. Егорова, студ.; рук. А.Г. Темников, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В последние годы ведется активное строительство новых ветряных электростанций (ВЭУ). Для увеличения генерирующих мощностей увеличивают высоту ВЭУ и диаметр ротора. Особенно проблемной частью ВЭУ являются лопасти из композиционных материалов.

ВЭУ часто подвергаются ударам молний, например, в США удары молнии становятся причиной 23,4% отказов ветряных турбин. Повреждение лопастей ВЭУ вследствие удара молнии считается самым дорогостоящим и разрушительным, имеет самую высокую частоту (примерно 75%), наблюдается в среднем около 10 дней простоя на инцидент с молнией. В 2009 году молния во время сильной грозы разрушила часть ветряной электростанции в Германии. Куски лопастей пролетели около 150 метров, приземлились около шоссе и повалили несколько деревьев в лесу [1].

Приведенный в литературе опыт исследований и эксплуатации ВЭУ показал, что существует ряд пролем в области их молниезащиты. Например, применение одиночного молниеприемника в ряде случаев имело низкую эффективность (из-за загрязнений, неправильного расположения на лопасти), при этом добавление второго рецептора или металлической сетки приводило к снижению эффективности работы ВЭУ.



Для решения этих проблем необходимо собирать подробную статистику, исследовать специфику процессов поражения молнией ВЭУ и инициирования молний самими ВЭУ, искать способы повысить эффективность молниезащиты и на их основе разрабатывать новые актуальные нормативы для проектирования молниезащиты ВЭУ.

Литература

1. **Mello, Gisela et al.** Effects of atmospheric discharges on wind farms performance: a review study // 2022 Renewable Energy and Environmental Sustainability Vol. 7, — p. 21.

Гу Синьюань, аспирант; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМНОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Из-за своей уникальной природы озон используется в качестве окислителя или дезинфицирующего средства в таких областях, как очистка воды, очистка воздуха, медицина и т.д. На сегодняшний день промышленное производство озона происходит главным образом в барьерном разряде, развивающемся в барьерных озонаторах [1].

Цель настоящего исследования заключается в изучении влияния параметров газовых зазоров на работу генераторов озона.

На базе Matlab была создана модель барьерного озонатора с резонансным источником питания, а также смоделирована работа при различной неоднородности в одном и двух зазорах. На рис. 1(а) приведены зависимости между амплитудой напряжения и его частотой для барьерного генератора озона с одним зазором при неоднородности различных газовых зазоров, а на рис. 1(б) приведены зависимости для озонатора, где барьер располагается между металлическими электродами, образуя двойной зазор.

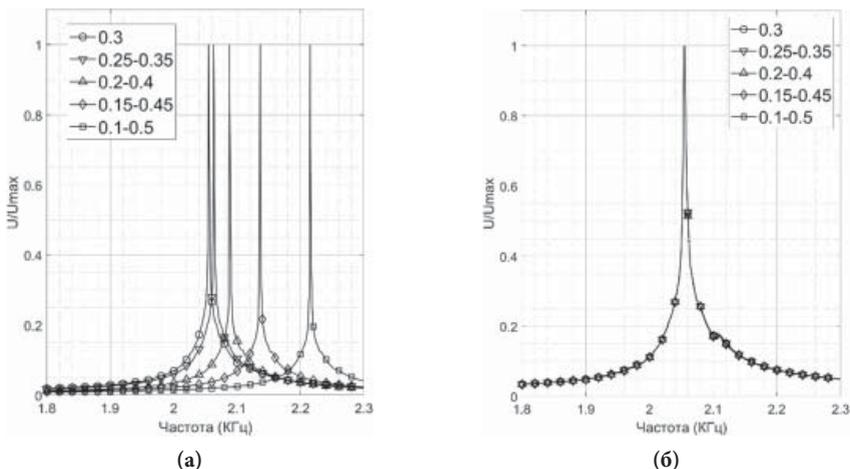


Рис. 1. Резонансные зависимости барьерного озонатора
(а) — с одним зазором; (б) — с двойным зазором

Результаты моделирования показали, что неоднородность газового зазора оказывает значительное влияние на работу озонатора с одним зазором и что работа озонатора с двойным зазором не изменилась. Это означает, что применение 2 зазоров позволяет стабилизировать работу озонатора.

Литература

1. Самойлович В.Г., Гибалов В.И. и Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда.

*Д.Д. Дмитриев, студент;
рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДНОЙ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Озон — экологически чистое средство для окисления и дезинфекции, особенно популярное в водоподготовке. В промышленности для его получения используют барьерный разряд [1]. Кинетические кривые озонаторов могут существенно отличаться друг от друга. По мнению исследователей, ключевой фактор, влияющий на эффективность озонатора — неравномерность зазора между электродами в разных точках. Эта неравномерность обусловлена технологическими ограничениями при производстве озонаторов, в частности, при изготовлении электродов с требуемой точностью. Из-за нее возникают неоднородности в распределении мощности и расхода газа по площади электродов.

С помощью специально созданной расчетной модели, была проведена оценка влияния неравномерности газового зазора на эффективность использования объемного барьерного разряда при оптимальных значениях плотности мощности на примере генератора озона (ГО). В основе созданной модели лежит представление ГО как большого числа параллельно соединенных маленьких ГО эффективной площадью в 10–20 мм² каждый, что по порядку соответствует площади, занимаемой одним микрозарядом в реальных ГО при газовых промежутках размером от долей до единиц миллиметров. Разрядный промежуток разбивается на n частей, каждая из которых представляет собой самостоятельный разрядный промежуток, соединенный параллельно с $n-1$ другими. В первый момент времени на поверхности барьеров отсутствует осевший заряд [2].

На основе созданной модели были проведены расчеты с целью обнаружения зависимости общей емкости и мощности от величины отклонения зазора. Емкость растет с увеличением отклонения зазора. Разница при нулевом и максимальном отклонении составляет 7,5%. Суммарная вырабатываемая мощность практически не зависит от отклонения.

Учет неоднородности разрядного промежутка генератора озона путем разбиения площади электрода на части оказался эффективным в расчетах параметров цепи питания реального озонатора. Минимизация общей емкости генератора озона может служить показателем качества его сборки.

Литература

1. **Лунин В.В., Карягин Н.В., Ткаченко С.Н., Самойлович В.Г.** Способы получения озона и современные конструкции озонаторов: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. — 216 с.
2. **Лысов Н.Ю. и др.** Оценка влияния неравномерности газового зазора на характеристики объемного барьерного разряда // *Электричество*. — 2020. — № 4. — С. 25–34.

*Н.А. Иванов, студент;
рук. В.В. Воеводин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Высоковольтные транзисторы используются для решения задач, связанных с управлением мощными импульсными устройствами в таких областях науки и техники, как медицина, лазерные технологии, радиолокация и т.д. Широкие перспективы области создания новых коммутаторов с улучшенными характеристиками открываются при использовании для их построения современных полупроводниковых приборов [1]. На данный момент в высоковольтных источниках напряжения активно начинают применяться транзисторы на основе карбида кремния (SiC), благодаря электрическим и тепловым характеристикам карбида кремния появляется возможность создания транзисторов, значительно превосходящих по параметрам кремниевых «прародителей» [2].

В ходе работы проводились испытания каскада высоковольтных ($U_{си} = 1200$ В) SiC МОП транзисторов N-канального типа с индуцированным каналом в составе твердотельного генератора импульсных напряжений (ГИН) для питания электрического разряда. Исследовались форма напряжения и тепловой режим составляющих ГИН транзисторов при разной амплитуде и частоте напряжения при работе на емкостную нагрузку. Результатом работы являются определённые диапазоны значений основных характеристик твердотельного ГИН.

Литература

1. **Sato, S.; Komuro, A.; Nonomura, T.; Asai, K.; Ohnishi, N.**; Experimental demonstration of low-voltage operated dielectric barrier discharge plasma actuators using SiC MOSFETs // 2020 J. Phys. Volume 53, Number 43.
2. **Sato S., Yoshikawa T., Ohnishi N.** The Effect of SiC MOSFET Characteristics on the Performance of Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators with Two-Stroke Charge Cycle Operation // 2022 Actuators, 11(11), 333.

*А.Н. Мясищев, студент;
рук. А.Г. Темников, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА И МОЛНИЕОТВОДА НА ГЛАВНУЮ СТАДИЮ РАЗРЯДА

В России проблема молниезащиты наземных объектов остается актуальной задачей, особенно для объектов с различной формой вершины, которая может существенно влиять на вероятность поражения молнией. Эффективная молниезащита требует изучения влияния геометрических характеристик защищаемого объекта и молниеотвода, таких как форма их вершин.

Цель работы — экспериментально исследовать с использованием комплекса «ГРОЗА», который позволяет моделировать искусственные грозовые облака и разряды молнии, влияние формы вершины моделей объекта и молниеотвода на вероятность поражения разрядом и определить основные зависимости между параметрами главной стадии разряда из искусственной грозовой ячейки и геометрией объекта.

Параметры главной стадии разряда

№	Параметры электрода ($H/r_{кр}$), мм	I_m	$a_{0,3}$	Q	T_u
		А	А/нс	нКл	нс
1	250/49	50,4	0,481	18912	1500
2	375/49	51,2	0,770	9074	735
3	310/24	15,2	0,137	3804	540
4	315/49	27,2	0,428	4708	332

Выявлено, что при постоянном радиусе кривизны $r_{кр}$ с увеличением высоты H возрастает крутизна $a_{0,3}$ тока разряда и уменьшаются протекший заряд Q и длительность T_u . В свою очередь, при фиксированной высоте и увеличении радиуса кривизны наблюдается рост тока I_m и его крутизны [1]. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкций молниеотвода и разработки рекомендаций по защите наземных объектов молний.

Литература

1. Калугина И.Е., Темников А.Г., Гундарева С.В. Влияние формы вершины объекта и молниеотвода на вероятность поражения наземных объектов молнией. — 2012. — 12 с.

*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 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ

При техническом воздействии на электрооборудование оценка ИТС по нормативным документам должна производиться не реже одного раза в год. При этом значения отдельных параметров технического состояния допустимо принимать такими же, как в прошлом году [1]. А в соответствии с НТД ряд параметров снижаются с интервалом 2, 4 и даже 6 лет.

В среднем для расчета ИТС высоковольтного выключателя необходимо произвести оценку около 45–50 параметров [1]. Допустимо, что за год значения N -ого числа параметров может измениться, что при принятии прошлогодних значений может повлиять на итоговую оценку технического состояния.

Анализ значений ИТС при расчете с прошлогодними и фактическими значениями некоторого числа параметров на примере высоковольтного бакового элегазового выключателя класса напряжения 110 кВ показал, что при не учете изменения трех параметров ошибка в расчете ИТС может существенно повлиять на решение о выводе выключателя в ремонт.

Таким образом необходим способ оценки ИТС выключателя без вывода его из работы. Предлагается использовать способ расчета ИТС с помощью методов машинного обучения (МО) с использованием ретроспективных данных [2]. Данный способ позволяет определять зависимость между полным набором данных, полученным и занесенным в журналы персоналом в ходе эксплуатации и ограниченным, полученным с помощью автоматизированных систем.

Литература

1. **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».
2. **Сорокин А.С., Коваленко А.И., Малютин М.С., Лебедев А.А., Султанов М.М., Стрижиченко А.В.** Алгоритм автоматизированной оценки технического состояния высоковольтного элегазового выключателя по ограниченному набору данных // Электрические станции. — № 1 (2024). — 2024. — С. 40–45.

Д.А. Вертогузов асп.; рук. В.Ф. Лачугин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–35 КВ

В настоящее время распределительные сети постоянно усложняются: увеличивается потребление мощности и электроэнергии, появляются сложные кольцевые и узловые участки, вводится в работу все больше установок распределенной генерации. Для обеспечения правильного функционирования таких сетей используется автоматизация, появляются так называемые высокоавтоматизированные РЭС [1].

Несмотря на применение цифровых устройств и цифровых каналов связи, подход к построению комплекса РЗА остается традиционным — ручной или автоматизированный расчет универсальной или ограниченного числа групп параметров срабатывания каждого устройства с оперативным переключением. В текущей ситуации данный подход недостаточен для обеспечения чувствительности и селективности защит.

В [2] рассматривались особенности расчета токовых защит от междуфазных КЗ при использовании адаптивной системы РЗА. Основным фактором, влияющим на селективность и чувствительность защит, была выделена топология. Также по результатам опытов было определено поведение защит при некорректных группах параметров срабатывания. Важным звеном в работе адаптивной системы РЗА является система автоматического изменения параметров срабатывания в конечных устройствах.

Предполагается, что для каждого варианта топологии должен быть разработан отдельный алгоритм, у которого четко определены пусковые органы, а также порядок работы. Алгоритмы должны учитывать особенности работы РЗА таких сетей, а также схожи в поведении с самим РЗА, например, не иметь задержек при включениях на КЗ или неуспешных АПВ.

Литература

1. Лебедев А.А., Волошин А.А., Леднев А.Н. Концепция построения и полигон для отработки технологий создания высокоавтоматизированных РЭС и микроэнергосистем // Релейщик. — 2023. — № 2. — С. 22–26.
2. Лачугин В.Ф., Волошин А.А., Коваленко А.И., Данилов С.А., Сазанов В.С., Вертогузов Д.А. Разработка решений для автоматического расчёта токовых защит от коротких замыканий в высокоавтоматизированных районах электрических сетей 6–35_кВ // Электрические станции. — 2024. — № 6(1115). — С. 38–43.

*Д.В. Яковлев, студент;
рук. В.В. Воеводин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА ПРИ ПИТАНИИ ИМПУЛЬСНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Поверхностный разряд при импульсном напряжении широко исследуется в последние годы как с точки зрения его предотвращения в высоковольтной изоляции, так и для применения в различных плазменных технологиях.

Установлено, что структура поверхностного разряда и его электрические характеристики существенно зависят от свойств диэлектрического барьера [1], в то же время данные о поведении разряда при повышенной температуре весьма ограничены [2]. Такие данные помогли бы в изучении физических процессов, на которые влияет экстремальная окружающая среда. Один из возможных способов изучения горения разряда при высоких температурах — это повышение температуры барьера и среды, в которой происходят разрядные процессы.

Экспериментальная установка представляет из себя закрытую электродную систему, состоящую из разрядного (верхнего) и заземленного (нижнего) электродов и керамического барьера. Верхний электрод подключен к схеме генерации высоковольтных импульсов. Нагрев ячейки позволит создать необходимые условия для проведения экспериментов

Размещение дополнительного третьего (вытягивающего) поможет оценить влияние высоких температур на вытягиваемый ток.

Литература

1. **Kozlov M.V. и др.** Nanosecond Surface Corona Discharge for Different Types of Strip Electrodes and Ceramic or Polymer Dielectrics // *Plasmas Polym.* 2003. Т. 8. № 3. С. 179–197.
2. **M.V. Sokolova, S.A. Krivov, and M.V. Skuratov.** Surface Discharge in Air at High Temperatures // *Pis'ma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki.* 2010. Vol. 36. No. 11. pp. 24–31.

*В.В. Бунина, Э.М. Карпакова, А.Э. Сергеева, студенты;
рук. А.Г. Темников, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ МОДЕЛЕЙ МОЛНИЕОТВОДОВ НА ПАРАМЕТРЫ НАВОДИМЫХ ПОБЛИЗОСТИ СИГНАЛОВ

Вспышка молнии — распространенное в природе явление, однако, в ряде случаев, она может стать причиной нежелательных последствий для деятельности человека. Среди них возможно возникновение импульсных помех [1], являющихся предметом изучения в данном исследовании. Для определения величины наводимых помех рассмотрены две конфигурации стержневого электрода с высотой 250 мм и 375 мм, с одинаковыми радиусами вершины 49 мм. На рисунке 1а приведена схема эксперимента. Рядом со стержневыми электродами на одинаковом для обоих опытов удалении располагалась плоская антенна, фиксирующая изменение тока смещения, благодаря которому возможно определить изменение электромагнитного поля. На рисунке 1б графически показано соотношение тока разряда и тока смещения, наводимого на антенне для обоих случаев.

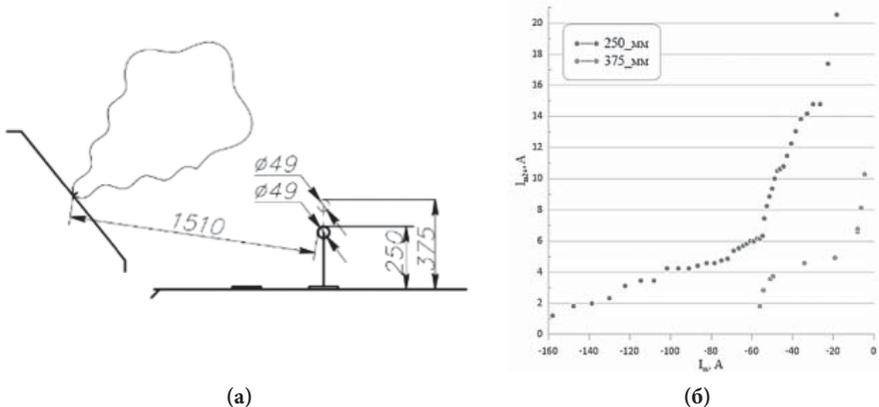


Рис. 1. (а) Схема расположения электродов в двух группах опытов;
(б) Схема расположения электродов в двух группах опытов

Анализ экспериментальных данных показал, что зависимость амплитуды тока электрода от тока смещения, с увеличением высоты электрода, возрастает, что подтверждает влияние высоты молниеотвода на уровень наводимых помех [2].

Литература

1. **Борисов Р.К., Овсянников А.Г.** Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: НГТУ, 2017.
2. **Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И.** Физически и инженерные основы молниезащиты: Гидрометеоиздат, 1978.

К.В. Латышов, студент; рук. В.Г. Карантаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЧАСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РЗА В УСЛОВИЯХ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

Вопросам надежности функционирования релейной защиты и автоматики (РЗА) всегда уделялось большое внимание. Однако, в классических работах рассматривались вопросы обеспечения надежности для устройств на электромеханической и микроэлектронной аппаратных базах. Указанные виды аппаратных исполнений РЗА не требовали рассмотрения фактора влияния компьютерных атак (КА) на выполняемые функции. В то же время, за прошедшие десятилетия значимым изменением в условиях эксплуатации РЗА стало применение микропроцессорных устройств. Подтверждением важности данного вопроса для объектов энергетики являются факты реализации КА. В то же время, применяемые средства защиты информации, как внешние по отношению к защищаемой системе, так и встраиваемые, призваны предотвратить успешные КА и наступающие последствия. При этом применяемые элементы комплекса организационно-технических мер в разной степени могут влиять на показатели надежности функционирования интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) РЗА. Исследования и разработка способов количественной оценки частных показателей надежности учитывающих фактор влияния КА является актуальной задачей, так как их дальнейшее применение позволит на практике синтезировать оптимальный набор механизмов защиты информации, применение которых максимизирует частные показатели надежности.

Однако, для решения данной задачи необходима оценка вероятности возникновения происходящих событий. Самыми распространенными способами определения потенциального ущерба и вероятности наступления вероятных опасных событий (ВОС) являются методы экспертного оценивания. Под ВОС понимается опасное событие, идентифицированное, как нежелательное и выявленное на стадии идентификации опасности. Отметим, что ВОС — это, в том числе, успешный этап или действие в КА.

В результате, в рамках исследования разработан способ количественной оценки частных показателей функциональной надежности ИЭУ РЗА, основанный на применении метода «деревьев отказа», отличающийся возможностью оценки влияния КА на коэффициент готовности и экономический ущерб от ненадежности, с применением экспертных методов оценивания наступления ВОС.

Ю.Д. Шурова, студ.; К.П. Еремин, студ.;
рук. С.С. Жуликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ НА ПС 35–220 КВ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕЕ СНИЖЕНИЮ

Переход к цифровым подстанциям (ЦПС) — важный шаг в направлении повышения надежности и безопасности электроснабжения и снижения аварийности [1]. С целью снижения количества технологических нарушений предлагается рассмотреть необходимость строительства новых ЦПС в Московском регионе. В связи с этим был проведен анализ причин повреждаемости основного оборудования ПС 35–220 кВ в Москве и Московской области (рис. 1).

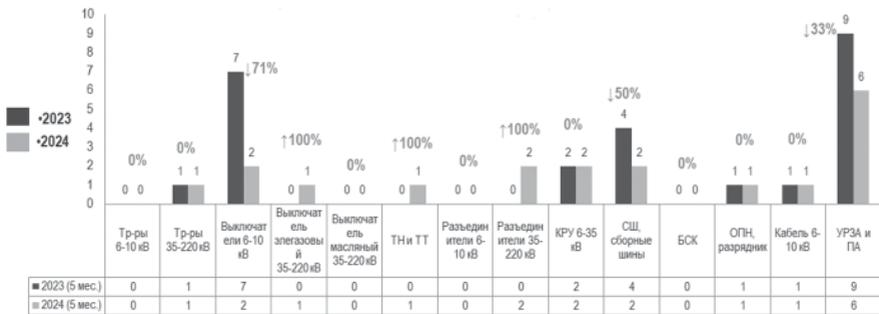


Рис. 1. Диаграмма повреждаемости оборудования ПС 35–220 кВ

Проведенный анализ показал, что основными причинами повреждаемости оборудования являются: ошибочные действия персонала при эксплуатации оборудования, увеличение количества оборудования со сверхнормативным сроком эксплуатации, заводские дефекты, повреждение оборудования при монтаже.

Для снижения аварийности разработан комплекс программ по повышению надежности оборудования подстанций 35–220 кВ, направленный на увеличение операционной и технологической эффективности. Мероприятия могут быть реализованы в рамках внедрения новых ЦПС в Московском регионе.

Литература

1. Магадеев Э.В. Перспективы построения цифровых подстанций — II выпуск — Электроэнергия. Передача и распределение. Сборник научно-технических статей сотрудников Группы компаний «Россети», 2018. — 15 с.

*М.Л. Волков, А.А. Аксенов, студенты;
рук. И.П. Городилов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГИБРИДНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВАНИИ ЕГО ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ

Согласно научно-исследовательской опытно-конструкторской работе, проведенной компанией АО «НТЦ ФСК ЕЭС», были разработаны программно-технические комплексы управления системой охлаждения (СО) трансформаторов (ТР) на основе принципов частотного и дискретного регулирования. Помимо этого, согласно исследованиям наиболее крупных статей затрат, на собственные нужды (СН) подстанции (ПС), порядка 30% СН относят к СО ТР.

По данным [1] выявлено, что применение частотного регулирования и дискретного регулирования уменьшают среднегодовое потребление электроэнергии на 30% и 19% в части СО ТР. Также, согласно [2], дополнительным техническим эффектом является увеличение срока службы ТР путем уменьшения коэффициента термического износа ТР.

На основании опыта внедрения систем дискретного и частотного регулирования, была поставлена задача, разработать систему, включающую в себя совмещенный алгоритм, не уступающий в эффективности системе дискретного регулирования. Основными критериям системы должны являться: уменьшение стоимости производства СО ТР и сокращение объемов строительно-монтажных работ.

В данной работе будет разработан алгоритм гибридного управления СО ТР, сочетающего в себе принципы частотного и дискретного регулирования, с дальнейшим проведением стендовых испытаний. Предполагаемый срок внедрения на объектах ПАО «Россети» 2025 г.

Входными данными для управления такой системы являются: температура внешнего воздуха, температура наиболее нагретой точки масла ТР, токовая нагрузка ТР.

Литература

1. **И.В. Кривецкий**, Дискретное и частотное управление охлаждением силовых трансформаторов и повышение энергетической эффективности систем охлаждения трансформаторов распределительного комплекса / И.В. Кривецкий // Энергия единой сети. — 2023. — № 5-6 (71) — С. 54–58.
2. **ГОСТ 14209-85** Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов, 2002 г.
3. **В.И. Ключев, В.М. Терехов**. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов // М.: Энергия, 1980 г. — 360 с.

В.Д. Семенова, студ.; рук. О.С. Белова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ НА РАБОТУ КВАНТОВЫХ СВЯЗЕЙ

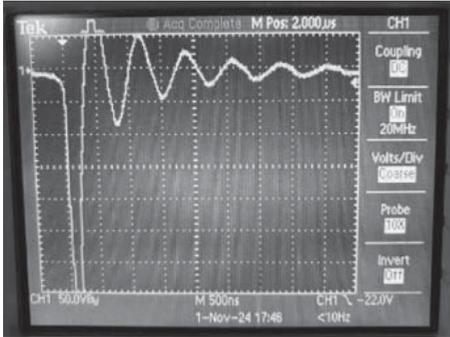


Рис. 1. Характерная осциллограмма напряжения

ным стержневым электродом со сферической вершиной. Стержневой электрод заземлялся через измерительный шунт. При экспериментах с коммутационным импульсом используется шунт сопротивлением 1 Ом, при экспериментах с полным грозовым импульсом — 1,151 МОм, сигнал с этого шунта регистрируется с помощью цифрового осциллографа, который был подключен через пробник напряжения (коэффициент деления — 1:100). Характерная осциллограмма напряжения на измерительном шунте при разряде, вызванном коммутационным импульсом, приведена на рисунке 1.

С помощью данной установки будет исследовано влияние разрядов вблизи оптических линий связи, на передаваемый по таким линиям, с использованием ключа квантового шифрования [2], сигнал.

Литература

1. **D.D. Sukachev**, «Large quantum networks» // *Physics-Uspekhi*, vol. 64. no. 10., 2012, pp. 1021–1037.
2. **V. Martin, J.P. Brito, C. Escribano, et al.**, «Quantum technologies in the telecommunications industry» // *EPJ Quantum Technol.* 8, 19. 2021.

А.В. Иванов, студ.; рук. Л.Л. Черненский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для определения зон защиты системы молниеотводов требуется компьютерный расчёт, так как проектирование молниезащиты зданий и сооружений не ограничивается установкой одного или двух молниеотводов, где ручной расчёт ещё возможен [1]. Поэтому для выполнения задачи требуется специализированное программное обеспечение, которого нет в свободном доступе.

Разрабатываемая программа для проектирования молниезащиты наземных объектов реализована в виде приложения. Пользователь может 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. На рисунке 1 представлен пример расчёта зон системы молниезащиты, состоящей из 3 молниеотводов. Расчёт выполнен программой автоматически в соответствии с РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» [2].

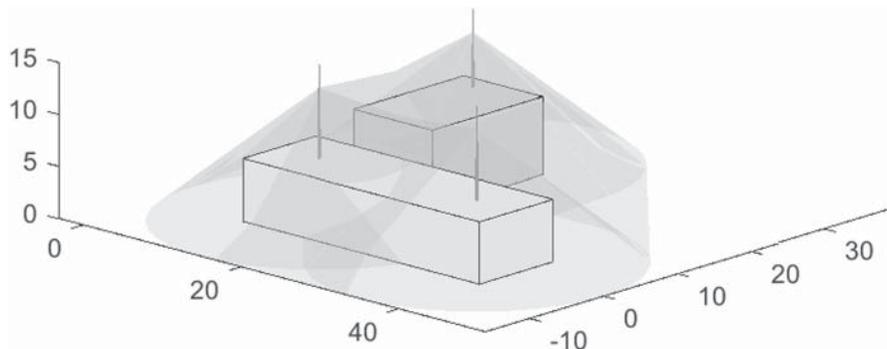


Рис. 1. Пример работы программы

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 и сооружений: РД 34.21.122-87: утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12 октября 1987. — 32 с.

И.О. Савельев, асп.; рук. С.С. Жуликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ С ПЕРСОНАЛА НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Статическая электризация (СЭ) — явление, с которым сталкивается каждый человек в повседневной жизни, и оно кажется ему незначительным и не достойным внимания. Однако ее негативное влияние на работу микропроцессорных устройств, входящих в состав современных автоматизированных систем управления (АСУ) и релейной защиты (РЗ), позволяет изменить эту точку зрения, так как недооценка этого явления может привести к серьезным проблемам. Эти проблемы появляются при возникновении электростатических разрядов (ЭСР) между телом наэлектризованного оператора и микропроцессорным оборудованием. Как правило, ЭСР приводят в лучшем случае к сбоям в его работе, а в худшем — к повреждению (пробую) входящих в него электронных компонентов (микросхем и транзисторов) и полному выходу из строя. Такие случаи возникают внезапно [1] и появление их непредсказуемо. Ситуацию осложняет тот факт, что в настоящее время недостаточно глубоко изучен механизм воздействия ЭСР на компоненты микроэлектроники и, вероятнее всего, это воздействие носит кумулятивный характер — полный пробой наступает после воздействия нескольких ЭСР [2, 3]. Большинство исследований в этой области посвящено общим аспектам проблемы ЭСР и только в работе [4] проведен анализ повреждения электронной платы, однако механизм пробоя установленных на нее компонентов остался без внимания.

Надежность и эксплуатационный ресурс энергетического оборудования напрямую зависят от корректной работы систем автоматики и релейной защиты, поэтому исследования в этой области являются актуальными и требуют более глубокого изучения ЭСР.

Литература

1. **Dash, G.R.** Designing to avoid static-ESD testing of digital devices / G.R. Dash // 1985 International Symposium on Electromagnetic Compatibility / IEEE. — N. Y.: IEEE Publishing services, 1985. — P. 262–267.
2. **Горлов, М.И.** Электростатические заряды в электронике / М.И. Горлов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович. — Минск: Бел. наука, 2006. — 295 с.
3. **Кечиев, Л.Н.** Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л.Н. Кечиев, И.Д. Пожидаев. — М.: Издательский дом «Технологии», 2005. — 352 с.
4. **Brown, B.S.** Finite-element time domain simulation of electrostatic discharge using mixed-dimensional finite elements / B.S. Brown, L.L. Routh / 1994 IEEE International symposium on Electromagnetic Compatibility / IEEE. — N. Y.: IEEE, 1994. — P. 95–98.

*К.П. Еремин, студ.; Ю.Д. Шурова, студ.;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВРЕМЯ-ТОВОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СЕТЕЙ С МАЛОМОЩНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Современные маломощные источники энергии, такие как резервные генераторы и ветрогенераторы, находят всё более широкое применение в распределительных сетях 0,4 кВ. Однако их эксплуатация сопровождается проблемой недостаточной чувствительности стандартных автоматических выключателей к малым токам короткого замыкания [1], что повышает риск аварий и пожаров.

В рамках данной работы проведен анализ существующих время-токовых характеристик автоматических выключателей, применяемых в таких сетях [2]. Исследованы особенности бросков токов при различных коммутациях и их влияние на работу защитных устройств. На основе параметров резервных генераторов предложен метод расчёта новой, более чувствительной время-токовой характеристики. Данная характеристика позволяет повысить чувствительность работы релейной защиты в сетях с маломощными источниками энергии, обеспечивая соответствие требованиям пожарной безопасности.

Полученные результаты могут быть использованы при настройке устройства релейной защиты [3].

Литература

1. **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.
2. Очувствление аппаратуры электрического щита 0,4 кВ ввода при переходе на собственный генератор / К.П. Еремин, А.А. Иванов, Я.Л. Арцишевский // РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать девятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (16–18 марта 2023 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2023. — С. 1100.
3. Рекомендации по расчёту и перенастройке дополнительного устройства очувствления аппаратуры электрического щита 0,4 кВ / К.П. Еремин, А.А. Иванов, Я.Л. Арцишевский // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Тридцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (29 февраля — 2 марта 2024 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. — С. 1237.

*В.Ф. Кириченко, В.А. Фёдорова, аспиранты;
рук. Г.В. Глазырин, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В данной работе представлено описание принципа работы алгоритма нового типа релейной защиты от витковых замыканий в обмотке статора синхронного генератора прямым методом, основанным на напряжении небаланса в цепях фаз статора [1].

Защита от витковых замыканий имеет ограниченное применение вследствие отсутствия простых способов ее осуществления. Только для генераторов с параллельными ветвями разработана относительно простая и надежная схема защиты (поперечная дифференциальная защита). При малой доле замкнувших витков существующие защиты неэффективны, так как не обладают требуемой чувствительностью. В связи с этим актуальной задачей является разработка нового типа релейной защиты для определения замыканий с малой долей витков в обмотке статора прямым методом.

Предлагаемый в данной работе алгоритм релейной защиты от витковых замыканий будет основан на численном решении дифференциальных уравнений равновесия ЭДС и падений напряжений в обмотках синхронной машины. Витковое замыкание в обмотке статора генератора приводит к изменению собственной индуктивности одной из фаз, её взаимных индуктивностей, а также образованию дополнительного короткозамкнутого контура. Следовательно, равенства, заданные уравнениями электромагнитных переходных процессов исправной синхронной машины, при наличии виткового замыкания выполняться не будут [2].

Разработанный алгоритм релейной защиты опробован на лабораторном генераторе мощностью 12 кВт, установленном в Новосибирском государственном техническом университете. Согласно полученным осциллограммам, при уставке по небалансу напряжений, принятой на уровне 5%, предлагаемый алгоритм релейной защиты является чувствительным к межвитковым КЗ в обмотке статора.

Литература

1. **Чернобровов Н.В., Семёнов В.А.** Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1998. 800 с.
2. **V.F. Kirichenko.** A new type of relay protection to prevent winding faults in synchronous generators // 25 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2024): proc., Altai, 28 June — 2 July 2024.

А.С. Николаев, асп.; рук. А.А. Волошин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 35 КВ И ВЫШЕ

Надежность работы энергосистемы в значительной степени зависит от надежности работы силовых трансформаторов. Внеплановые перерывы в их работе в связи с неудовлетворительным техническим состоянием какого-либо функционального узла недопустимы.

Вычисление интегральной оценки технического состояния электрооборудования может строиться двумя способами:

- на методике, приведенной в Приказе № 676 [4], в которой представлена математическая модель комплексной оценки состояния электрооборудования в «текущий» момент эксплуатации;
- на оценке отдельных критически важных параметров электрооборудования.

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 [5]. Однако стоит отметить, что данная методика прогноза не учитывает фактические условия эксплуатации силового трансформатора и имеет существенные ограничения по корректировки прогнозной модели.

В настоящей работе исследуются математические модели развития дефектов функциональных узлов силового трансформатора напряжением 35 кВ и выше, на основе которых будет уточняться прогноз развития дефекта до момента отказа оборудования с применением методов машинного обучения.

В качестве выводов, полученных в результате проведенного исследования, представлены результаты разработки и апробации алгоритмов прогнозирования развития дефектов трансформатора, на примере понижающего трансформатора с обмоткой высшего напряжения 220 кВ. Для апробации алгоритмов прогнозирования развития дефектов использовались наборы ретроспективных данных, содержащие разное количество параметров, в соответствии с [4], отражающих изменение технического состояния трансформатора в процессе эксплуатации.

Литература

1. Приказ министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 года № 676.
2. Приказ министерства энергетики РФ от 19 февраля 2019 года № 123.

Секция 60

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

*Р.Д. Лизогуб, П.А. Комаров, П.А. Балаев, студ. ;
рук. И.С. Козьмина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОБИЛЬНОМ ГЕНЕРАТОРЕ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Генераторы импульсных напряжений (ГИН) широко используются в научных исследованиях, в области прикладной физики, а также для высоковольтных испытаний электрооборудования. С их помощью моделируются импульсные воздействия молнии на оборудование для определения качества изоляции. Они обладают значительными габаритами и массой и являются стационарными. Использование же мобильных установок позволяет обеспечить возможность тестирования оборудования на месте эксплуатации [1].

Малое количество существующих работ по данной тематике в совокупности с потребностями в испытаниях электрооборудования среднего класса напряжения делают данное исследование актуальным и имеющим значение для повышения эффективности высоковольтных испытаний. Опираясь на многолетний опыт исследований перенапряжений, были стандартизированы параметры полного грозового импульса [2].

Настоящая работа была направлена на создание теоретической базы для исследований переходных процессов в мобильных ГИН, отвечая на соответствующий запрос быстро развивающегося технического прогресса. Были изучены существующие методы и технологии в области генерации импульсов, в области расчета переходных процессов. Было произведено программное моделирование переходного процесса для модели генератора, позволяющего получать импульсы для испытаний электрооборудования класса напряжения 10 кВ.

Литература

1. Патент № 2488132 С2 Российская Федерация, МПК G01R 31/12. мобильный генератор импульсных напряжений и токов: № 2010116003/07: заявл. 23.04.2010: опубл. 20.07.2013 / А.Н. Чулков, И.А. Смирнов, А.А. Виноградов.
2. ГОСТ Р 55194-2012. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2012-26-11 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 57 с.

Ю.Н. Кузнецова, студ.;
 рук. О.М. Большунова, к.т.н., доц.
 (Санкт-Петербургский горный университет
 императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург)

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Гармонический анализ обладает рядом недостатков, в первую очередь ограниченной частотной разрешающей способностью [1, 2].

В качестве решения данной проблемы предлагается использование интерполяции кубическими сплайнами [3].

Произведено моделирование сигналов с различными значениями ТНД_У. Электрическая цепь представлена на рис.1. Определены средние значения отклонений $i_1(t)$ и $u_0(t)$, рассчитанных с помощью двух подходов, от фактических значений (табл.1). Новый подход является более точным.

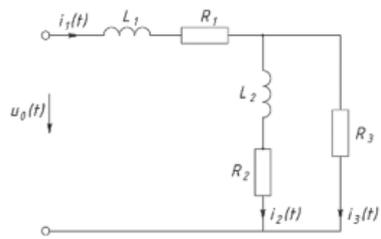


Рис. 1. Схема моделируемой электрической цепи

Таблица 1. Среднее значение относительного отклонения

№	ТНД _У ,%	Отклонение $u_0(t)$,%		Отклонение $i_1(t)$,%	
		Гармонич. анализ	Сплайн-аппроксим.	Гармонич. анализ	Сплайн-аппроксим.
1	6,42	3,53	1,21	112,80	1,36
2	10,55	37,93	10,84	117,37	43,06
4	24,84	12,35	4,06	148,22	53,06

Литература

1. Гишларкаев В.И. Метод преобразования Фурье для уравнений в частных производных: формулы представления решений задачи Коши // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2022. Т. 9. № 3.
2. Ярославкина Е.Е., Суслов А.В., Козлов М.Ю. Измерение эффективного значения периодического негармонического сигнала при наличии случайной помехи с использованием аппроксимационного метода // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2019. № 4.
3. Карпов Д.А., Струченков В.И. Динамическое программирование как метод сплайн-аппроксимации в САПР линейных сооружений // Российский технологический журнал. 2019. Т. 7. № 3.

*И.Н. Мушников, студ.; К.В. Шиш, асп.;
рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Современное развитие электроэнергетических систем сопровождается значительным увеличением количества несимметричных нагрузок. В связи с этим расчет установившихся несимметричных режимов линейных трехфазных электрических цепей является особо актуальной задачей теоретических основ электротехники (ТОЭ).

Как правило, в классической литературе по ТОЭ [1, 2] рассматривается лишь один метод расчета несимметричных режимов — метод симметричных составляющих (МСС). Современные задачи определения параметров таких режимов зачастую связаны с компьютерным моделированием. Для успешного решения данных вопросов необходимо иметь достаточное представление о методах расчета несимметричных трехфазных цепей.

В связи с этим целью данной работы стал обзор существующих подходов к их расчету. В настоящей работе были рассмотрены следующие методы:

- 1) МСС, основанный на преобразовании Фортескью [3];
- 2) метод системных схем замещения, связанный с представлением элементов электрической цепи системными схемами замещения [4];
- 3) метод фазных координат, заключающийся в расчете параметров режима непосредственно в фазных координатах на базе соответствующих трехфазных схем замещения [5];
- 4) метод фазных схем замещения, основанный на представлении трехфазной цепи с использованием макроэлементов [6].

Результаты работы могут быть интегрированы в учебные курсы кафедры ТОЭ Московского энергетического института.

Литература

1. **Основы** теории цепей / Г.В. Зевеке, и др. — 5-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. **Теоретические** основы электротехники: В 3 т. Т.1 / К.С. Демирчян, и др. — 4-е изд., доп. — СПб.: Питер, 2003.
3. **Fortescue C.L.** Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of the Polyphase Networks // Trans. AIEE, Vol. 35, Pt. II. P. 1027–1140.
4. **Практикум** по ТОЭ [учеб. пособие] / Шакиров М.А., Кияткин Р.П., Модулина А.Н. и др.; под ред. М.А. Шакирова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006.
5. **Лосев С.Б., Чернин А.Б.** Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. М.: Энергоиздат, 1983.
6. **Васьковская Т.А., Жохова М.П., Рослова К.С.** Машинный расчет несимметричных режимов трехфазных цепей с динамической нагрузкой // Вестник МЭИ. 2021. № 1. С. 62–69.

И.Н. Мушников, студ.; рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ВЫБОР ФИЛЬТРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Управление качеством электроэнергии (КЭ) является одной из приоритетных задач современной электроэнергетики. Важным аспектом этой задачи является снижение уровня высших гармоник (ВГ) в электрических сетях.

Установка фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) является одним из наиболее распространенных способов обеспечения КЭ в части несинусоидальности в системах электроснабжения [1].

Анализ схемы включения ФКУ (рис. 1) показывает, что, кроме снижения напряжения $U_{(n)}$ на резонансной частоте фильтра n , установка ФКУ приводит к изменению других гармонических составляющих напряжения в точке присоединения. При этом в существующих методиках выбора ФКУ не в полной мере учитывается влияние Z_c на характер этих изменений [2].

В связи с этим данная работа направлена на исследование описанного выше влияния.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технической документации по выбору параметров ФКУ.

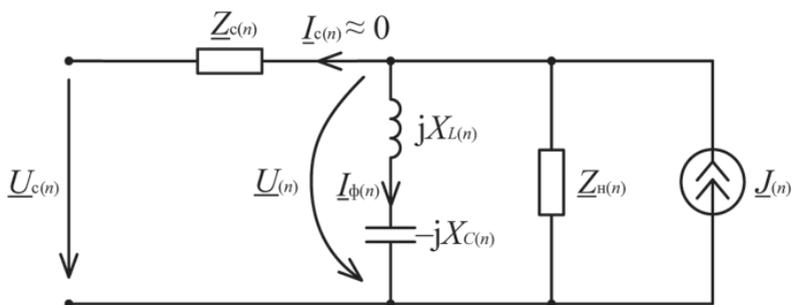


Рис. 1. Схема замещения ФКУ, искажающего потребителя и источника питания на частоте n -й гармоники

Литература

1. **Управление** качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. **А.В. Поссе.** Схемы и режимы электропередач постоянного тока. Л.: Энергия, 1973.

*И.Н. Мушников, студ.; К.В. Шиш, асп.;
рук. М.А. Силаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ Р К ЭМИССИИ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

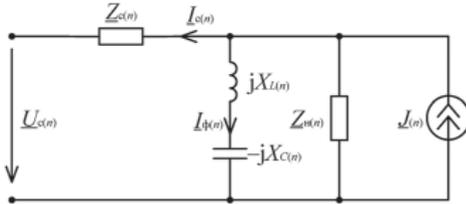


Рис. 1. Схема замещения ФКУ, искажающего потребителя и источника питания на частоте n -й гармоники

пространственных способов снижения токов и напряжений ВГ в системах электропитания [1]. ФКУ наиболее простой конструкции представляет последовательно соединенные конденсатор и реактор.

В настоящее время разрабатывается ГОСТ Р [2], устанавливающий нормы эмиссии токов ВГ в электрических сетях. С учетом этих нововведений целесообразно осуществлять выбор параметров ФКУ таким образом, чтобы удовлетворять требованиям [2].

В соответствии со схемой замещения на n -й гармонике (рис. 1) согласно [2] должно выполняться следующее неравенство:

$$I_{c(n)} < I_{c(n)\text{норм}} \quad (1)$$

где $I_{c(n)\text{норм}}$ — нормированное значение модуля n -й гармонической составляющей тока сети.

В настоящей работе предложен подход по выбору параметров ФКУ с учетом условия (1). Полученные результаты могут быть использованы при разработке технической документации по выбору параметров ФКУ.

Литература

1. **Управление** качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. **Проект ГОСТ Р.** Электромагнитная совместимость. Нормы гармонических составляющих и составляющих обратной последовательности тока в сетях общего назначения среднего и высокого напряжения. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [Электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304635013> (дата обращения: 19.11.2024).

Е.Д. Тельцова, студ.; К.В. Шиш, асп.;
рук. М.А. Силаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Обеспечение качества электроэнергии (КЭ) является одной из ключевых задач в современной электроэнергетике [1]. Невыполнение нормативных требований ГОСТ 32144 в части несимметрии напряжений становится причиной технологических и экономических ущербов. Одним из способов обеспечения КЭ в части несимметрии является установка симметрирующих устройств (СУ). Выбор СУ осуществляют при условии полной компенсации помех в точке их включения. Однако при неполной компенсации мощность устройства может быть снижена, что приведет к уменьшению его стоимости. В связи с этим целью данной работы стала разработка методики определения параметров СУ при неполной компенсации несимметрии в точке включения.

В работе рассматривался выбор параметров управляемого СУ на базе конденсаторных батарей (КБ). Полагалось, что при установке СУ должны выполняться нормативные требования в части несимметрии напряжений и эмиссии токов обратной последовательности (ОП) [2]. В качестве исходных данных для определения параметров СУ выступали результаты измерений показателей КЭ. Для определения параметров СУ необходимо рассчитать ток ОП КБ $I_{2к}$ (рис.1). Ток $I_{2к}$, суммируясь с током ОП нагрузки I_2 , обеспечивает выполнение условия:

$$I_{2c} < I_{2норм}$$

где I_{2c} — составляющая ОП тока источника питания, $I_{2норм}$ — нормированное значение данного тока [2].

Разработанный алгоритм также включает в себя оценку возможности применения неуправляемого СУ.

Применение данной методики позволит снизить затраты на технические мероприятия по управлению КЭ за счет уменьшения мощности компенсирующего устройства и исключения из его состава дорогостоящих элементов управления.

Предложенная методика может быть использована при разработке технических и методических мероприятий по компенсации несимметрии напряжений.

Литература

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р. Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2017.
2. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304635013> (дата обращения: 06.12.2024).

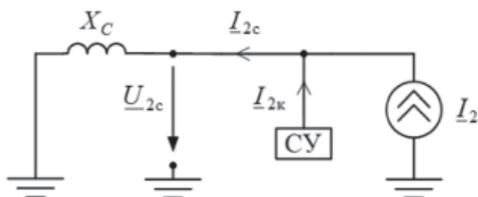


Рис. 1. Схема замещения для ОП

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

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, СВЯЗАННОЙ С ИССЛЕДОВАНИЕМ РЕЗОНАНСА ТОКОВ, ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Выполнение лабораторных работ позволяет приобрести практические навыки работы с электрооборудованием, способствует формированию общепрофессиональных и инструментальных компетентностей бакалавра.

В виду отсутствия материалов по выполнению лабораторной работы, связанной с резонансом токов, на сайте кафедры «ТОЭ» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», настоящая работа предполагает разработку лабораторной работы на тему «Исследование резонанса в цепи с параллельно соединенными элементами R, L, C» [1], включая теоретическую справку, подготовительную часть, рабочее задание, экспериментальную часть, рекомендации по составлению отчета, а также контрольные вопросы для последующей защиты. Данная работа позволит студентам закрепить знания, полученные на лекционных и практических занятиях, экспериментально проработать тему и наглядно оценить различие резонансов в цепи с последовательно и параллельно соединенными элементами R, L, C [2].

Разработка проведена на базе лаборатории кафедры «ТОЭ», используя рекомендации по выполнению существующих лабораторных работ, следуя руководству по эксплуатации оборудования и соблюдая настоящие правила по охране труда.

Таким образом, лабораторная работа на тему «Исследование резонанса в цепи с параллельно соединенными элементами R, L, C» может использоваться в качестве работы, выполнение которой несёт рекомендательный характер, или быть включенной в состав существующей лабораторной работы на тему «Исследование резонанса в цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C». Также настоящая работа может стать основой для её компьютеризации с целью проведения дистанционных лабораторных работ.

Литература

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. М., «Энергия», 1975.
2. Бутырин П.А., Толчеев О.В., Шакирзянов Ф.Н. Основы электротехники: учебник для студентов средних и высших учебных заведений профессионального образования по направлениям электротехники и электроэнергетики — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 360 с.: ил.

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 61

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Hydropower and renewable energy sources

Председатель секции:

к.т.н., доцент Шестопалова Татьяна Александровна

Секретарь секции: Кунакин Дмитрий Николаевич

А.Е. Кудрявцев, асп.; рук. Е.П. Зацепин, к.т.н., доц. (ЛГТУ, Липецк)

АВТОНОМНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

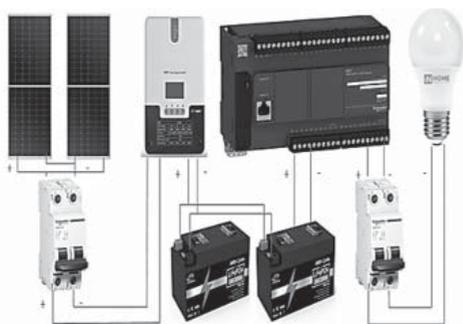


Рис. 1. Фотоэлектрическая станция

Тенденции в области энергосбережения обуславливают актуальность внедрения возобновляемых источников энергии, работающих на постоянном токе и обеспечивающих автономное снабжение энергией необходимых элементов сети. В данной работе речь идет о фотоэлектрической станции, которая изображена на рис. 1, особенностью которой является полная независимость от сети переменного тока и полная автономность.

Актуальность заключается в том, чтобы использовать оборудование для генерации электрической энергии в виде солнечных панелей, подключая их напрямую к нагрузке, без применения преобразовательных установок, которые приводят к некоторым потерям [1]. Питание всех устройств осуществляется от возобновляемых фотоэлектрических станций с использованием аккумуляторов для накопления электричества. Данная схема электроснабжения позволит создать абсолютно автономную систему для питания потребителей, которая позволит исключить случаи с потерей электричества и создаст все условия для накопления энергии.

Литература

1. **Кудрявцев А.Е.** Имитационное исследование рабочих характеристик микросети постоянного тока // Цифровая трансформация в энергетике: материалы Четвертой Международной научной конференции. — 2023. — С. 107–109.

Ю.Д. Кавойков, Л.А. Веренцов, студенты;
рук. М.В. Бурмейстер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С АЛГОРИТМОМ ПОДДЕРЖАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ К СЕТИ

В настоящее время наблюдается увеличение количества солнечных (СЭС) и ветровых электростанций (ВЭС) в электроэнергетических системах (ЭЭС). Для поддержания их надёжной работы к ним предъявляются определённые требования, в частности соблюдение силовыми преобразователями *LVRT*-характеристики при снижении напряжения в точке общего присоединения (ТОП), другим важным требованием является поддержание напряжения при его отклонениях в ТОП [1]. При этом силовые инверторы, установленные на ВЭС и СЭС, должны вырабатывать или потреблять реактивную мощность, необходимую для поддержания напряжения в ТОП.

Цель работы — разработка аппаратной реализации системы автоматического управления (САУ) для силового преобразователя с алгоритмом поддержания напряжения в ТОП. Ранее коллективом была разработана имитационная модель данного алгоритма в среде *Matlab Simulink*. Для проверки модели на адекватность требуется её верификация на физической модели [2].

В результате работы была выполнена аппаратная реализация САУ для преобразователя с алгоритмом поддержания напряжения в ТОП, которая позволяет проводить физическое моделирование работы инвертора в режиме поддержания напряжения в ТОП. Данный комплекс был выполнен на основе цифрового процессора обработки сигналов *TMS320F28379D*.

Разработанный аппаратный комплекс будет использован в дальнейшем авто-рами для тестирования цифровых систем управления силовыми преобразователями, в том числе с алгоритмами виртуальной инерции, и анализа их соответствия требованиям нормативных документов.

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. **Веренцов Л.А.** Разработка имитационной модели силового инвертора с механизмом поддержки напряжения в точке общего присоединения к сети при внешних возмущениях: Выпускная квалификационная работа. МЭИ, 2024 — 41 с.

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

Мощность, МВт

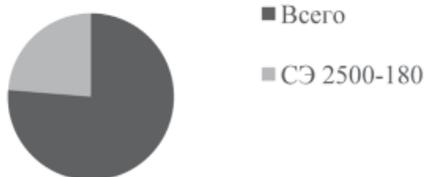


Рис. 1. Мощность насосов ПАО «Мосэнерго»

ПАО «Мосэнерго» — один из крупнейших производителей тепла в мире. Для теплоснабжения компания использует разнообразное оборудование, включая сетевые насосы общей мощностью, которая составляет 365,8439 МВт.

Одним из основных насосов, систем, обеспечивающих потребителя тепловой энергией, является СЭ 2500-180. В настоящее время

на станциях ПАО «Мосэнерго» установлен 91 насос данной марки, общая приводная мощность, которых составляет 113,75 МВт, что составляет 1/3 от всей установленной мощности сетевых насосных агрегатов.

Адаптация данных насосов, конкретным условиям эксплуатации, возможно на основе модернизации проточной части, в результате чего удастся согласовать нагрузочную сеть с оптимальной рабочей зоны эксплуатации и тем самым снизить потребляемую мощность. Следует отметить, что повышение КПД насоса на хотя бы 1% даёт экономию в размере 1,15 МВт.

В рамках модернизации проводится изменение ширины выходной кромки рабочего колёса, что позволяет изменить пологость характеристика агрегата, существенно уменьшив потери.

Такая модернизация особенно важна для повышения надёжности и эффективного теплоснабжения потребителей.

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.В. Андриенко, студ. ;
 рук. А.В. Волков, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО ЭНЕРГОИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ МИКРОГЭС ДЛЯ СИСТЕМ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВО ВНУТРИДОВОМОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В мире наблюдается резкий рост популярности электромобилей. Согласно данным Международного энергетического агентства, на конец 2021 года количество электромобилей на дорогах достигло 16,5 миллиона. Ожидается, что к 2030 году их число увеличится до 145 миллионов.

Однако, рост числа электромобилей приводит к нехватке зарядных станций [2]. Особенно в городах с большой плотностью населения.

В связи с вышесказанным, перспективным источником энергии может быть использована системы созданная на основе рекуперации избыточного магистрального давления теплоносителя, располагаемая на тепловых пунктах (рис. 1). Его величина примерно 0,2–0,09 Мпа [1]. Тепловой пункт имеет на входе дросселирующее устройство, на нем происходят потери энергии, а в Москве их в системе ОАО «МОЭК» более 12000 [3].

В рамках разработки планируется на основе массового насоса КМ–80–65–160 с измененным рабочим колесом, разработать микроГЭС, работающую в широком диапазоне напоров.

Перепроектирование рабочего колеса необходимо, так как зарядная станция должна работать постоянно, чего невозможно добиться на базовом рабочем колесе [3].

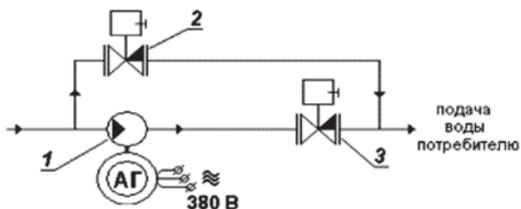


Рис. 1. Схема регулятора давления в водоводе на основе СРД 1 — гидроагрегат СРД; 2 — клапан СРД байпасный; 3 — клапан дроссельный штатный

Литература

1. **Баженов М.И.** по курсу «Источники и системы теплоснабжения по направлению «Теплоэнергетика» — М.: МЭИ, 2006.
2. **Басс М.С., Батухтин А.Г.** Комплексный подход к оптимизации функционирования современных систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. — 2011. — № 8. — с. 55–57.
3. **А.В. Волков, А.Г. Парыгин, В.А. Рыженков, С.Н. Щербаков** Получение электрической энергии в системах тепло- и водоснабжения на основе рекуперации избыточного магистрального давления насосов // «Новости теплоснабжения», 2007, № 10, с. 46–50.

С.А. Кострюков, студ.; А.Р. Васильев, студ.;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

В отечественной ветроэнергетике потенциал использования возобновляемых источников энергии, характеризуется значениями полезной электрической мощности, достигаемыми более 10 ГВт. В этой связи необходимо разрабатывать новые и совершенствовать известные конструкции ветрогенераторов, их основных элементов и узлов, для обеспечения эффективной выработки электрической энергии с учетом конкретных климатических условий. Развитие ветроэнергетики в России в некоторой мере способствует улучшению экологической ситуации в регионах и глобальному снижению выбросов парниковых газов, которые образуются при сжигании традиционных видов органического топлива на энергетических предприятиях и тепловых электростанциях. Таким образом, создание конструкций ветрогенераторов, характеризующихся высокой эффективностью использования энергии ветра, является актуальной задачей исследования [1].

В работе авторами с помощью программного комплекса компьютерного моделирования AnsysFluent22R1 проведено изучение локальных эффектов профилей лопастей ветрогенератора с вертикальным расположением ротора Савониуса. На предварительной стадии авторами разработана и изготовлена физическая модель ротора Савониуса с заданными конструктивными параметрами. Модель профиля ротора Савониуса, исследуемая в работе, выполнена в программе Компас 3D и изготовлена на 3D-принтере из полимерного материала.

Результаты лабораторных исследований показывают, что для модельной установки экспериментально полученное значение коэффициента мощности на установившемся режиме работы соответствует $C_p=0,19$, а на разгонном участке в диапазоне времени от 0 до 12 с значение C_p может достигать 0,22. Необходимо заметить, что современные конструкции ветрогенераторов с ротором Савониуса в зависимости от условий характеризуются значениями $C_p=0,14-0,16$. Таким образом, полученные в работе значения коэффициента мощности удовлетворительно согласуются с данными, приведенными [2].

Литература

1. **Шерьязов С.К., Исенов С.С., Искаков 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.

И.Д. Георгиевский, асп.;
рук. П.В. Илюшин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СЭС

Рост доли солнечных электростанций (СЭС) в составе энергосистем вызывает значительные вызовы для их стабильной работы, поскольку выработка СЭС зависит от поступления солнечной радиации и погодных условий [1]. Прогнозирование выработки СЭС на 6 часов и сутки вперед — важная задача, для обеспечения надежности энергоснабжения потребителей электроэнергии и сокращения резервирования мощностей в энергосистеме.

Существующие методы прогнозирования делятся на физические, статистические и гибридные [2]. Физические модели основаны на численном прогнозировании погоды с учетом характеристик электростанций; статистические модели используют исторические данные для обучения моделей прогнозирования, а гибридные подходы объединяют оба метода, улучшая точность прогнозирования для уникальных условий местности расположения СЭС.

Главной сложностью прогнозирования является учет облачности, так как она сильно влияет на поступление солнечной радиации. При прогнозировании на 6 часов вперед свою эффективность показали спутниковая съемка, наземные камеры наблюдения и актинометрические станции, позволяющие следить и прогнозировать движение облаков.

В краткосрочном прогнозировании широко применяются глобальные модели, такие как ECMWF и GFS, которые обеспечивают данные о метеоусловиях с высоким разрешением и позволяют прогнозировать поступление солнечной радиации на основе атмосферных данных.

Особое значение имеет применение вероятностных прогнозов выработки электроэнергии СЭС [3], учитывающих возможные отклонения и определяющих диапазон прогнозируемых величин выработки электроэнергии. Такие прогнозы помогают диспетчерам энергосистем точнее оценивать риски возникновения небалансов активной мощности и гибко планировать резервы, повышая надежность энергосистемы.

Литература

1. **Воропай Н.И.** Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем // *Электричество*. 2020. № 7. С. 12–21.
2. **Ерошенко С.А.** Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций: дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2020. — 212 с.
3. **Li B.** A review on the integration of probabilistic solar forecasting in power systems / B. Li, J. Zhang // *Solar Energy*. 2020. Vol. 210. P. 68–86.

К.К. Кружков, студ.;
рук. А.В. Третьяков, к.т.н., доц. (ГУ «Дубна», Дубна)

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Величины среднегодовой выработки электроэнергии (СГВЭ) рассчитываются в программах, моделирующих работу ветрогенератора, как правило при номинальных начальных условиях, несят завышенный оценочный характер. Для того, чтобы получить представление о реальных значениях СГВЭ необходимо учитывать разброс ее возможного изменения, возникающий из-за отклонений расчетных параметров ветрогенератора от характеристик реальных установок генерирования, возникающий из-за погрешностей расчета аэродинамических, массово-инерционных, геометрических и прочих параметров. Такие разбросы описываются доверительными интервалами. Доверительные интервалы изменения рассматриваемых величин определены с помощью стохастического моделирования, в пределах их допускаемых отклонений, распределенных по нормальному закону.

Предложена методика [1–3] и разработанная на ее основе моделирующая программа, которая позволяет: 1) подбирать различные аэродинамические профили и определять их аэродинамическую эффективность для использования на ветрогенераторе; 2) вырабатывать рекомендации по оптимизации геометрических, массово-инерционных, аэродинамических параметров, и алгоритмов управления проектируемых установок. Программа позволяет оценить основные конструктивные параметры ветрогенератора: СГВЭ, коэффициент использования энергии ветра, радиус и угловую скорость вращения ветроколеса. При этом варьировались параметры, влияющие на энергоэффективность работы ВЭУ, такие как коэффициент аэродинамического момента профиля лопасти, коэффициент быстроходности и расчетная скорость ветра.

Литература

1. **Волков К.В., Третьяков А.В.** Моделирование процесса выработки электроэнергии горизонтально-осевым ветрогенератором // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тридцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.:Радуга, 2024. — с. 1260.
2. **Кружков К.К., Третьяков А.В.** Методика статистической оценки эксплуатационных параметров ветрогенератора // XIII Конгресс молодых ученых ИТМО: Тез. Докл. — Электронное издание. — СПб: Университет ИТМО, 2024. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/12054>.
3. **Пискунова О.И., Третьяков А.В.** Динамическое проектирование системы автоматического управления ветроэнергетической установкой // Государственный университет «Дубна». 30 лет в науке: сборник научных трудов. Дубна: Гос. Ун-т «Дубна», 2024. — с. 184–190.

Д.А. Авдеев, студ.;
рук. А.В. Третьяков, к.т.н., доц. (ГУ «Дубна», Дубна)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ

Аэродинамические системы ветрогенераторов при определенных значениях числа Рейнольдса имеют экстремум своих характеристик. Например характеристика коэффициента подъемной силы в функции от угла атаки имеет явно выраженный экстремум в диапазоне углов атаки от 5 до 15 градусов (рис. 1). Данный факт впервые был замечен специалистами Балтийского университета имени И. Канта [1] и не наблюдается при моделировании аэродинамических процессов классическими методами [2]. Для выявления факта наличия экстремума проведена детализация существующей математической модели. Детализация осуществлена путем уточнения алгоритма аппроксимации аэродинамических характеристик ветроколеса в интересующем диапазоне углов заклинивания лопастей. При применении экстремальной системы управления возможно увеличить выработку электроэнергии, если настраивать систему на работу при оптимальных значениях углов заклинивания. В ходе работы были получены величины выработок электроэнергии для ряда аэродинамических профилей. Следующим этапом исследования поставлена задача построения собственной аэродинамической схемы лопасти в программе Ansys Fluent и построение графика обтекания с получением соответствующих аэродинамических характеристик.

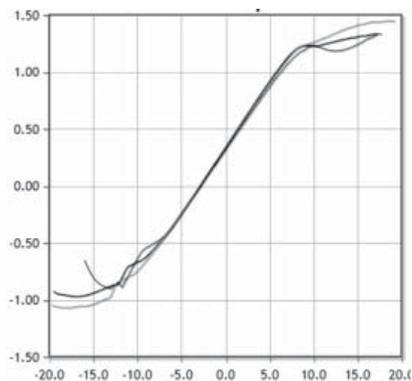


Рис. 1. Зависимость $C_y = f(\alpha)$ при различных значениях числа Рейнольдса

Литература

1. Чижма С.Н., Захаров А.И., Молчанов С.В. Патент на изобретение № RU 27 50 080 С1 от 22.06.2021. Система управления ветрогенератором.
2. Третьяков А.В. Моделирование системы автоматического управления горизонтально-осевой ветроэнергетической установки // Вестник компьютерных и информационных технологий, М.: 2023, № 11 — с. 16–25.

М.К. Бодунов, студ.;
рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГИДРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРА С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

Одноковшовые экскаваторы нашли широкое применение при проведении земляных работ в строительстве, сельском и коммунальном хозяйстве, при механизации погрузочно-разгрузочных процессов. Использование гидроприводов в одноковшовых экскаваторах позволяет достаточно просто обеспечить необходимый уровень автоматизации, значительные усилия и скорости движения, что положительно сказывается на производительности машины.

Вместе с тем работа гидропривода сопряжена со значительными потерями мощности в гидрораспределителях и напорных клапанах, что связано с процессами дросселирования потока рабочей жидкости [1]. Данные процессы усугубляются крайней неравномерностью нагружения рабочих органов экскаватора в процессе работы.

Решение данной проблемы часто связывают с переходом к гидроприводам, работающим при переменном давлении. Его уровень определяется текущими нагрузками на рабочих органах. В этом случае значительно снижаются перепады давлений на дросселирующих элементах в малонагруженные периоды работы экскаватора.

Дальнейшее улучшение энергоэффективности гидропривода может быть достигнуто за счет применения структур, использующих принципы рекуперации, аккумуляции и повторного использования энергии [2]. При подъеме стрелы экскаватора с грузом происходит увеличение потенциальной энергии. В дальнейшем, при ее опускании, вес груза создает сопутствующую нагрузку, что позволяет восстановить, сохранить и в дальнейшем использовать запасенную энергию для последующего подъема стрелы. Аналогично при разгоне платформы экскаватора при ее повороте происходит увеличение кинетической энергии. При торможении она может быть восстановлена и накоплена, и в дальнейшем использована.

В качестве энергонакопителей в подобных системах могут использоваться электрический аккумуляторы, суперконденсаторы, маховики и гидравлические аккумуляторы.

Литература

1. **Галдин Н.С.** Элементы объемных гидроприводов мобильных машин. Справочные материалы. — Омск, СибАДИ, 2008. — 128 с.
2. **Jiansong Li, Jiyun Zhao, Xiaochun Zhang** A Novel Energy Recovery System Integrating Flywheel and Flow Regeneration for a Hydraulic Excavator Boom System // *Energies*. — 2020. — № 13(2) 315. <https://doi.org/10.3390/en13020315>.

У.Ф. Голубков, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

НАТУРНЫЕ МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСРЕДНЕННОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ АДЫГЕЙСКОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Расчет проектной выработки ВЭС производится по паспортной мощностной характеристике ВЭУ для стандартных условий (средняя плотность воздуха 1,226 кг/м³), являющейся обязательными данными производителя. В реальных условиях на площадке ВЭС средняя плотность воздуха может отличаться до $\pm 25\text{--}30\%$ от стандартного значения, что в свою очередь влияет на мощностную характеристику ВЭУ, и соответственно на определение режимов работы ВЭС и ее выработки за разные интервалы времени [1]. Особенно актуальны натурные мощностные характеристики ВЭУ при краткосрочном и длительном планировании режима работы ВЭС.

В работе реализована методика разработки натуральных мощностных характеристик единичной ветроэлектрической установки (ВЭУ) в соответствии с ГОСТ Р 54418.12.2 [2] методом статистического моделирования на примере осредненной ВЭУ Адыгейской ВЭС по эксплуатационным данным (за 2021 год), существенный недостаток которых — отсутствие данных по скорости ветра в точке ВЭС на высоте оси ветроколеса. Эти данные были получены в результате моделирования годового ряда скорости ветра по двум разработанным автором моделям: горизонтальной и вертикальной интерполяции скорости ветра.

Разработка натуральных мощностных характеристик производилась для трех температурных режимов. Исследование показало, что использование натуральных мощностных характеристик значительно снижает погрешность определения суточной и годовой выработки осредненной ВЭУ Адыгейской ВЭС по сравнению с их расчетом по паспортной мощностной характеристике. В частности, в 90% случаях погрешность прогнозирования суточной выработки ВЭУ не превышает 4,4%.

Литература

1. **Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В.** Ветроэнергетика // Москва: МЭИ, 2016.
2. **ГОСТ Р 54418.12.2-2013.** Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 12-2. Измерение показателей мощности ветроэнергетической установки с использованием анемометра, установленного на гондоле.

В.П. Строков, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЫБОРА НОВЫХ ПЛОЩАДОК ВЭС С УЧЕТОМ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВЭС В СОСТАВЕ ОЭС НА ПРИМЕРЕ ОЭС ЮГА

Объединение отдельных ветроэнергетических станций (ВЭС) в ветроэнергетический комплекс (ВЭК), которое достигается благодаря асинхронности ветрового режима на площадках отдельных ВЭС, отличающихся физико-географическими условиями и расположенных друг от друга на большом расстоянии, приводит к повышению величины рабочей мощности, вырабатываемой с высокой обеспеченностью, а также снижению суточной и сезонной неравномерности выработки электроэнергии.

В работе приводится методика выбора новых площадок ВЭС с учетом существующего ВЭК в объединенной энергосистеме (ОЭС), способствующая улучшению показателей эффективности существующего ВЭК. Задача решается итерационным методом, рассматриваются все возможные варианты интеграции новых ВЭС в состав существующего ВЭК по различным показателям эффективности [1].

Практическая реализация разработанной методики была выполнена на примере ВЭК, расположенного на территории ОЭС Юга и состоящего из 22 ВЭС суммарной установленной мощностью 2,2 ГВт. Были выбраны 4 показателя эффективности: коэффициент использования установленной мощности ВЭК; коэффициент вариации значений мощности ВЭК; максимум значений мощности ВЭК с расчетной обеспеченностью ветра 90% и 95%. Из-за асинхронности поступления ветровых ресурсов к площадкам новых ВЭС и ВЭС, работающих в составе существующего ВЭК на территории ОЭС Юга, при обеспеченности 95% — мощность составляет около 5,87–6,64% от суммарной установленной мощности вновь созданного ВЭК. А интеграция четырех ВЭС на наиболее перспективных площадках в существующий ВЭК позволяет повысить рабочую мощность существующего ВЭК при обеспеченности 95% на 34% с 5,89% до 7,88% и снизить коэффициент вариации рабочей мощности ВЭК на 8% с 0,646 до 0,593.

Литература

1. **Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В.** Ветроэнергетика // Москва: МЭИ, 2016.

*С.А. Кострюков, студ.; А.Р. Васильев, студ.;
рук. Ю.В. Гусева, к.ф.-м.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ВБЛИЗИ ЛОПАСТЕЙ РОТОРА САВОНИУСА

Повышение эффективности использования энергии ветра на ветроэлектростанциях в значительной степени связано с совершенством конструкции лопастей роторов ветроэлектростановок [1, 2]. Локальные эффекты, возникающие вблизи лопастей ветрогенераторов при воздействии потока ветра, характеризуют возможные механизмы устранения потерь энергии ветра и пути совершенствования профиля лопасти. Для решения поставленной задачи, направленной на повышение эффективности использования ветра генерирующими установками с вертикальным расположением ротора, авторами разработана модель ветрогенератора с ротором Савониуса с заданными конструктивными параметрами и лабораторная установка для исследования ее характеристик, в которой степень турбулентности воздушного потока регулируется с помощью сеток, изготовленных из полимерного материала. С целью выравнивания потока воздуха применялись сетчатые модули с разным размером ячеек. Сетки располагаются внутри аэродинамической трубы на расстоянии 3 см друг от друга по мере убывания размера ячейки в направлении потока воздуха.

На основе выполненных лабораторных исследований и моделирования рабочих процессов авторами получены результаты вычисления полей скоростей для исследуемой модели ветрогенератора при скоростях набегающего потока воздуха v от 5 до 20 м/с. Результаты компьютерного моделирования профиля ветроколеса показали, что на изменение локальных характеристик оказывает существенное влияние геометрия ковша ротора. Таким образом, полученные в ходе моделирования локальные скоростные поля показывают, что в диапазоне исследуемых значений скоростного потока от 5 до 20 м/с наблюдается устойчивая работа ветрогенератора, при этом предложенная модель ротора Савониуса характеризуется отсутствием срыва потока ветра, как это показано в [3, 4].

Литература

1. **Шеръязов 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.
2. **Янсон Р.А.** Ветроустановки. — М.: 2007. — 36 с: ил.
3. **Templin R.J.** Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine // National Research Council of Canada. Rep. LTR 160. — 1974. — P. 185.
4. **Tian W., Song B., Van Zwieten J.H., et al.** Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes // Energies. — Vol. 8. — 2015. — № 8. — P. 7915–7929.

Н.С. Шуваев, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНДОВ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ МЕРИДИАННОГО СЕЧЕНИЯ ВДОЛЬ СРЕДНЕЙ ЛИНИИ ТОКА ДЛЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСОВ С РАСШИРЕННЫМ ВХОДОМ

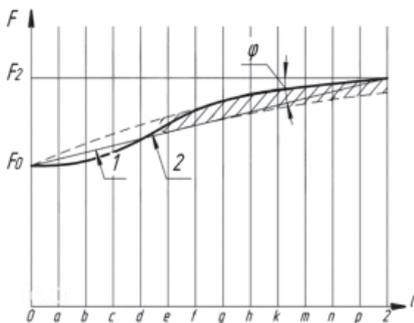


Рис. 1. График распределения площади по средней поверхности тока

При проектировании рабочего колеса (РК) центробежного насоса (ЦН) соблюдают плавное возрастание площади и добиваются пересечения прямой линии соединяющая вход и выход РК (цифра 1 на рисунке 1) с кривой распределения площади (цифра 2 на рисунке 1) примерно в зоне 1/3 длины средней поверхности тока [1]. Так как меридианное сечение, к которому стоит стремиться, чтобы получить высокое значение гидравлического КПД известно процесс проектирования РК не занимает много времени.

Используя данную методику МЭИ были спроектированы 4 РК насосов разной быстроходности: сверхнизкое со значением $n_s = 34$ (насос К-40-32-200), низкой $n_s = 66$ (насос К-80-50-200), нормальной $n_s = 130$ (насос К-100-80-160) и высокой $n_s = 175$ (насос К 160/30).

Однако неизвестно к какому графику меридианного сечения стремиться при проектировании РК ЦН с улучшенными кавитационными характеристиками при помощи технического решения с увеличением диаметра РК на входе.

Используя 3D-моделирование для вышеуказанных насосов будут получены РК с улучшенными кавитационными качествами. Для них построены графики распределения площади. Это позволит описать тренды изменяя площади меридианного сечения вдоль средней линии тока РК ЦН с расширенным входом. Что поможет создать методологию, которая упростит проектирование РК ЦН с увеличенным входным диаметром.

Литература

1. **Орахелашвили Б.М., Лямасов А.К.** Проектирование центробежного насоса: учеб. метод. пособие — М.: Изд-во МЭИ, 2018. — 56 с.

А.В. Филатов, асп.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА ОСЕВОГО СДВИГА В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ НАСОСАХ: ПРИЧИНЫ И СПОСОБЫ РЕШЕНИЙ

Осевое усилие в многоступенчатых насосах обусловлено неравномерным распределением давления на поверхностях рабочих колес и уплотнительных узлов. Наибольшую угрозу данное явление представляет в переходных режимах работы, таких как запуск или остановка агрегатов, когда динамические нагрузки провоцируют смещение ротора. Это приводит к снижению надежности оборудования и сокращению срока службы его основных компонентов. Проблема наиболее актуальна для насосов, эксплуатируемых в условиях высоких давлений и воздействия агрессивных сред.

Данная проблема оказывает значительное влияние в таких отраслях, как горнодобывающая промышленность [1], нефтяная отрасль [2] и энергетика. В этих сферах надежность насосного оборудования имеет ключевое значение, так как его сбои могут повлечь существенные убытки и аварийные ситуации.

Возникновение осевого сдвига связано с недостатками в конструктивных решениях систем разгрузки ротора. Их несовершенство приводит к увеличению износа ключевых компонентов, утечкам рабочей среды и снижению объемного КПД насосов. Для повышения эксплуатационной надежности и долговечности оборудования требуется проведение исследований и внедрение современных технических решений, направленных на оптимизацию конструкций насосных агрегатов и их систем разгрузки.

Литература

1. **Овчинников Н.П.** Опыт эксплуатации секционных насосов на подземном кимберлитовом руднике «Мир» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 5 (123). С. 119–126. doi: 10.26730/1999-4125-2017-5-119-126
2. **Ковалев, Н.О.** Анализ причин отказов узла разгрузочного устройства насоса ЦНС 180–340, установленного в НВП ДНС-2 ТПП «Когалымнефтегаз» // Роль математики в становлении специалиста: материалы Международной научно-методической конференции, Уфа, 24 апреля 2018 года / 2018. — С. 101–106. — EDN XVQILB

*И.А. Бушуйкин, Е.А. Потапов, студ.; А.В. Филатов, асп.;
рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОНЦЕПЦИЯ СВОБОДНОПОТОЧНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ С НАКЛОННОЙ ОСЬЮ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Свободнопоточные гидротурбины, работающие на кинетической энергии потока, представляют перспективное решение для распределённой и возобновляемой энергетики, особенно в труднодоступных регионах и в условиях изолированных энергосистем. Одним из актуальных направлений является разработка турбин с наклонной осью вращения, которые могут адаптироваться к различным водотокам и увеличивать мощность установки, минимизируя воздействие на окружающую среду и исключая необходимость строительства плотин [1].

В проекте предложено техническое решение, основанное на наклоне оси ротора, что позволяет увеличить активную площадь гидроагрегата для заданной глубины водотока. Наклон оси способствует эффективному использованию скорости потока на разных уровнях, улучшая производительность и создавая условия для работы в зонах с неравномерным распределением скорости.

Дополнительное преимущество данного решения заключается в возможности использования в условиях Арктического региона. Также предусмотрена возможность динамического регулирования угла лопастей, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям потока [2], повышая общий КПД установки.

Литература

1. **Mohamed Murshid Shamsuddeen, Sang-Bum Ma, No-Hyun Park, Kyung Min Kim, Jin-Hyuk Kim**/Design analysis and optimization of a hydraulic gate turbine for power production from ultra-low head sites/*Energy*, Volume 275, 15 July 2023, 127371. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127371>
2. **Leidy Tatiana Contreras, Omar Dario Lopez, Santiago Lain**/ Computational Fluid Dynamics Modelling and Simulation of an Inclined Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine/*Energies* 2018, 11, 3151; doi:10.3390/en11113151

Е.С. Клименченко, студ.;
рук. А.В. Волков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ В КОНСТРУКЦИИ ШЛАМОВЫХ НАСОСОВ

Шламовые насосы представляют собой специализированное оборудование, предназначенное для перекачки жидкостей с высоким содержанием твёрдых частиц. Они широко используются в горнодобывающей, металлургической, строительной и других отраслях промышленности, где требуется эффективная транспортировка шлама — отходов, образующихся в процессе производства.

Важность шламовых насосов обусловлена их способностью обеспечивать транспортировку шлама, что позволяет оптимизировать производственные процессы и повысить их эффективность. Благодаря своей конструкции и принципу работы, шламовые насосы способны перекачивать жидкости с высокой концентрацией твёрдых частиц, таких как песок, руда и другие материалы. Это делает их незаменимыми в различных отраслях промышленности.

Однако, эксплуатация шламовых насосов сопряжена с рядом проблем, таких как износ проточной части, снижение производительности и эффективности, а также сокращение срока службы оборудования.

Для решения проблем, связанных с эксплуатацией шламовых насосов, необходимо провести модернизацию их проточной части.

В рамках выпускной работы, представлен проект модернизации рабочего колеса насоса типа «ГрАТ» с улучшенной геометрией лопаток (рис. 1). Изменения направлены на повышение эффективности и КПД насоса, а также на улучшение его кавитационных характеристик и срока службы.

В работе показано, что модернизация проточной части шламовых насосов является необходимым мероприятием для обеспечения их долгосрочной и надёжной работы. Оптимизация геометрии позволяет увеличить производительность и продлить срок службы насосов.

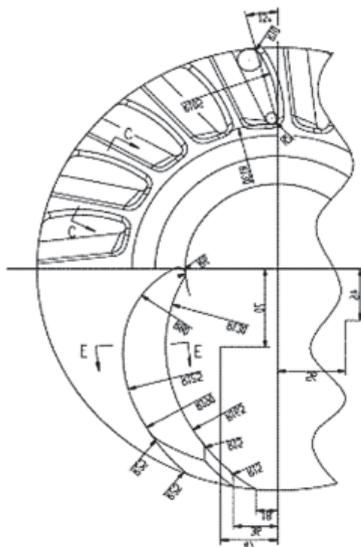


Рис. 1. Чертеж рабочего колеса

Д.С. Бурыкин, асп.;
рук. Т.А. Шестопалова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПЛЕКС 0,4–10 КВ

В настоящее время в Российской Федерации объем распределённой генерации, функционирующей на основе ВИЭ, достиг 4,7 МВт [1]. Лидерами развития и интеграции ВИЭ в мире являются Германия и США. Объем частных солнечных электростанций до 100 кВт, подключенных к сети в этих странах, составляет 40,1 ГВт и 36 ГВт соответственно [2, 3]. Основными требованиями для инверторов в зарубежных технических стандартах Германии и США являются работа в утвержденных пределах значений частоты и напряжения, возможность генерации реактивной мощности, дистанционное управление диспетчерским центром объемом генерируемой активной и реактивной мощности, а также требования к внутренним релейным защитам. В РФ отсутствует технический стандарт с требованиями к инверторам при их технологическом присоединении к объектам электросетевой инфраструктуры. При формулировании технических требований сетевые компании включают исключительно требования ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

В связи с этим предлагается выполнить расчеты режимов работы распределительной сети с объектами распределенной генерации на основе ВИЭ для формулирования технического требований с учетом особенностей российского законодательства и фактических параметров работы распределительной сети. Проведенная работа позволит повысить безопасность и надежность работы распределительных сетей за счет внедрения современных цифровых решений мониторинга и управления объектами распределенной генерации на основе ВИЭ в составе электросетевого комплекса.

Литература

1. **Энергетика и промышленность России** // Электроэнергетика. Электрические сети: сайт. — 2024. — URL: https://www.eprussia.ru/news/base/2024/606681.htm?sphrase_id=10394650
2. **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE**. “Photovoltaics Report.” — 2023. — 19 с.
3. **Solar Energy Industries Association (SEIA)**: сайт. — 2024. — <https://seia.org/5m/>

Е.В. Миронова, Е.Е. Полторацкий, студ.;
рук. М.Л. Артемьева, ст. преподаватель
(Чукотский филиал СВФУ, г. Анадырь)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО ВЕТРОГИДРОГЕНЕРАТОРА

В местах, где отсутствует электроснабжение, существует проблема с получением электроэнергии для бытовых нужд в полевых условиях. Рассмотрев возможности использования альтернативных источников энергии, нами были сделаны следующие выводы. Продолжительность солнечного сияния на Чукотке — от 1000 до 1800 ч/год (примерно 1,5–2,5 месяца) — низкий показатель для применения гелиоэнергетики.

Изучив Атлас ветров России [1], был обнаружен высокий ветропотенциал на побережье Тихого и Арктического океанов. Так же, взглянув на топографическую карту можно увидеть большое количество водоемов на территории ЧАО, в условиях нашего региона нельзя упускать ни один из источников возобновляемой энергии. Мы разработали новую конструкцию источника питания, который будет работать от ветра и течения воды. Данная конструкция предназначена для использования в полевых условиях Арктики.

Устройство работает на основе трубки Вентури (3), внутри которой установлены лопасти (3) и ротор (1). Генератор предполагает два режима работы: на земле и под водой. Для функционирования на поверхности необходимы: флюгер, корректирующий позицию генератора (4), съемная подставка (5). В режиме гидрогенератора предусмотрена проушина для крепления троса (8). Электроэнергия поступает к потребителю через кабель (7), поддерживаемый опорой кабеля (6).

Предлагаемая конструкция нашей установки будет универсальна, что экономически выгодно в отличие от других установок. Уникальность конструкции обеспечивает надежную работу.

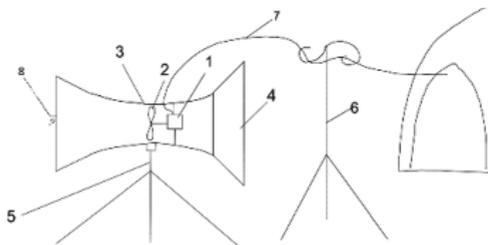


Рис. 1. Схема устройства мобильного ветрогидрогенератора

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.

Г. Тумэнжаргал, студ.;
рук. Я.Л. Арцишевский, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КАК ГАЭС ПОМОЖЕТ РЕШИТЬ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ В МОНГОЛИИ

Одна из самых сложных проблем с электроэнергией в Монголии являются зависимость от угля для генерации электро- и тепло-энергии и незначительное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Энергетика Монголии в значительной степени зависит от угольных электростанций, которые производят 90% от всех потребляемых энергии. Это объясняется большими внутренними запасами угля, относительно низкой стоимостью угля по сравнению с другими источниками энергии и необходимостью стабильного источника теплоэнергии для суровых зим.

Первый шаг по снижению использования угля представляет собой инвестиции в ВИЭ. Монголия обладает значительным потенциалом для развития ВИЭ, особенно ветровой и солнечной. Развивая эти ресурсы, Монголия сможет постепенно снизить зависимость от угля и создать более устойчивую энергосистему, в которой для совмещения графиков производства и потребления электроэнергии нужны совершенные накопители электроэнергии.

Наиболее освоенным и экологическим накопителем электроэнергии является гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС). ГАЭС может использоваться для интеграции ВИЭ, таких как ветровые и солнечные электростанции которые могут быть непостоянными из-за погодных условий. Принцип параллельной работы ГАЭС с другими электростанциями на основе ВИЭ заключен в том, что она накапливает избыточную электроэнергию в периоды избытка их производства и вырабатывает электроэнергию по графику нагрузки.

ГАЭС могут быстро переключаться между режимами генераторным и насосным, что требует учета в системе релейной защиты и автоматики (РЗА), которая также контролирует уровень воды в верхнем бьефе. С ростом использования ВИЭ, Монголия должна фокусироваться на разработке методов систем накопления электроэнергии и развития их специальных систем РЗА [1].

Литература

1. **Б. Мандах, Ж. Арслан.** Релейная защита и Автоматика электроэнергетических систем. Учебник для вузов. — Издательство МГУНТ Улан-Батор, 2023 г.

И.Е. Башкатова, студ.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ДВУМЯ И БОЛЕЕ СОВПАДАЮЩИМИ ШАГАМИ НА БАЗЕ ТРИГГЕРА

В современном мире промышленности и автоматизации пневматика играет важную роль в обеспечении эффективности и надежности производственных процессов, предлагая широкий спектр решений для автоматизации [1]. Интеграция пневматических элементов с системами автоматизации обеспечивает возможность разработки сложных систем управления, адаптированных к выполнению широкого спектра задач.

В настоящей работе были рассмотрены основы составления схем пневматического управления, разработана и проверена на работоспособность методика построения пневматических схем управления с двумя и более совпадающими шагами на базе триггера, с общим количеством шагов равному 4, 6 и 8 [2].

Результаты работы были апробированы на более пятидесяти различных примерах с разным количеством шагов (один из примеров представлен на рисунке 1). Предложенная методика оптимизации пневматических схем продемонстрировала высокую эффективность в устранении избыточных повторений и упрощении их аналитического представления [3].

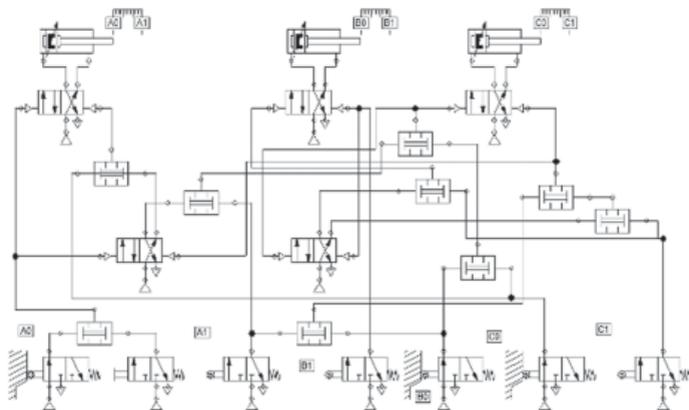


Рис. 1. Пневматическая схема управления с двумя совпадающими шагами, с общим количеством шагов 6

Литература

1. **Бабин А.И., Санников С.П.** Автоматизация технологических процессов. Элементы и устройства пневмогидроавтоматики, 2002.
2. **Шилин Д.В., Новиков А.А., Ганин П.Е.** Учебное пособие «Синтез дискретного алгоритма управления динамическими объектами на базе электропневмоавтоматики», 2023.
3. **Волосатов В.А.** Элементы пневмо-привода; Лениздат, 1975.

Д.Ю. Сулименко, студ.; рук. С.В. Астахов, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Искусственный интеллект (ИИ) становится ключевым фактором развития возобновляемой энергетики, способствует повышению её эффективности и снижению затрат. В статье исследуется различное применение ИИ в этой области, включая предсказание того, когда понадобится техническое обслуживание, прогнозирование производства энергии, управление энергосетями и оптимизацию хранения энергии.

Алгоритмы ИИ анализируют данные с сенсоров на ветровых турбинах и солнечных панелях для прогнозирования поломок и оптимизации производительности, что позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы [2].

ИИ-нейронные сети, используются для прогнозирования производства энергии на основе погодных данных и данных о производительности, что помогает регулировать предложения в зависимости от спроса в реальном времени. Энергосети с ИИ могут динамически регулировать подачу энергии, оптимизируя распределение и уменьшая потери [1].

ИИ оптимизирует циклы зарядки и разрядки батарей, повышая их эффективность, срок службы; применяется для анализа политики связанной с энергетикой, что дает возможность разрабатывать эффективные стратегии по стимуляции выработки и использования электроэнергии.

В статье представлены примеры успешного применения ИИ [1]. Рассматриваются проблемы современной энергетики, такие как качество передачи энергии, интеграция с существующей инфраструктурой и нормативные аспекты [2].

ИИ обладает потенциалом значительно ускорить развитие возобновляемой энергетики, что крайне важно для получения большего количества энергии с минимальным воздействием на экологию. Инвестиции в исследования и разработку ИИ, позволят значительно улучшить эффективность выработки и использования электроэнергии.

Литература

1. **Gopi A., Sharma P., Sudhakar K., Ngui W.K., Kirpichnikova I., Cuce E.** Weather Impact on Solar Farm Performance: A Comparative Analysis of Machine Learning Techniques // Sustainability. 2023. Т. 15. № 1.
2. **Лядау Ю.В. Темирбулатов А.У.** Обзор применения технологий искусственного интеллекта в электроэнергетической отрасли // Инновации и инвестиции. 2023 № 8.

Я.М.А. Атия, студ.; рук. П.С. Шуркалов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ПАЛЕСТИНЕ (ГАЗА)

Палестина (Газа) обладает значительным солнечным энергопотенциалом — среднегодовой приход солнечного излучения (СИ) составляет порядка 5,5–6 кВт·ч/м², а количество солнечных часов превышает 3000 часов в год [1]. При этом сектор Газа страдает от хронического энергетического кризиса, характеризующегося острой нехваткой электроэнергии, высокой зависимостью от импорта энергоресурсов и значительными экономическими и экологическими проблемами, вызванными использованием ископаемого топлива. В этих условиях солнечная энергетика представляет собой устойчивое решение для обеспечения энергоснабжения в Газе.

Для подтверждения данного утверждения была поставлена цель провести технико-экономическое обоснование строительства сетевой солнечной электростанции (СЭС) в Газе и сформулированы основные задачи работы: оценка ресурсов, выбор оптимального состава и параметров оборудования и оценка его эффективности.

В рамках исследования проведено моделирование прихода СИ на горизонтальную и наклонную поверхности с использованием различных моделей (ASCE, Spencer, SOLPOS, Ineichen, Perez), а результаты сопоставлены с данными из международных спутниковых баз NASA и PVGIS. Это позволило оценить локальные климатические условия и выбрать наиболее подходящие входные данные для последующих расчётов.

На этапе выбора состава и параметров оборудования СЭС были рассмотрены три варианта солнечных фотоэлектрических модулей (СФЭМ) и три варианта инверторов. По итогам расчёта режимов работы СЭС с разным составом оборудования и оценки их экономической эффективности выбраны СФЭМ CSI Solar Co Ltd CS7L 600MS R в количестве 4843 шт. и инвертор Power Electronics FS3000K 600V в количестве 1 шт.

Таким образом, результаты работы показали, что строительство сетевых СЭС в Палестине является экономически эффективным в части обеспечения доступного энергоснабжения для населения. Кроме этого такое решение также позволяет повысить устойчивость энергосистемы, снизить зависимость от импорта энергоресурсов и сократить углеродный след.

Литература

1. **Ismail M.S., Moghavvemi M., Mahlia T.V.I.** Analysis and evaluation of various aspects of solar radiation in the Palestinian territories // *Energy Conversion and Management*. — 2013. — Vol. 73. P. 57–68.

*К.В. Березина, студ.; А.П. Мунин, аспирант;
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доцент,
(СГТУ имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов)*

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ



Рис. 1. Значения мощностей геотермальных систем теплоснабжения месторождений регионов России, всего 327 МВт

данным в 10–15 раз) [2]. Широкомасштабное внедрение новых схем теплоснабжения с тепловыми насосами с использованием низкопотенциальных источников тепла позволит снизить расход органического топлива на 20–25%.

Данный вид ВИЭ практически неисчерпаем, доли процента тепла земных недр достаточно для обеспечения всех энергетических потребностей человечества на долгие времена.

Возобновляемые источники энергии — это следующий шаг человечества на пути к новой эпохе, где нет проблем с загрязнением окружающей среды. Одним из важных направлений в изучении ВИЭ является геотермальная энергетика [1].

Потенциал геотермальных источников намного превышает запасы органического топлива (по некоторым

Литература

1. **Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.** Альтернативные источники энергии: Учебное издание. — М.: ИП РадиоСофт, 2014.
2. **Свалова В.Б.** Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы / Мониторинг. Наука и технологии. 2015. № 3.

А.О. Боитова, студ.;
рук. Р.Х. Бейтуллаева, доц. («КИЭИ» Узбекистан, г. Карши)

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НАСОСОВ НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Управление режимами работы насосных станций является одним из ключевых элементов эксплуатации и надёжности гидроэнергетических установок. В основе управления режимами работы лежит регулирование

подачи насосных агрегатов. Представленный анализ результатов исследований позволяет провести оценку того или иного способа регулирования. В практике эксплуатации насосных агрегатов нередко приходится прибегать к регулированию их параметров, главным образом подачи реже-напора. Так, например, режим работы мелиоративных насосных станций диктуется графиком водоподдачи, имеющим значительные колебания во времени в течение поливного сезона, а иногда в течение суток и этим вызывается необходимость регулирования подачи насосной станции. Грамотный мониторинг систем машинного водоподъёма, может дать наибольший экономический эффект в процессе эксплуатации технических показателей элементов систем машинного водоподъёма [1]. Допустим, на насосной станции установлены два агрегата. В таком случае при подъёме воды в ($\text{м}^3/\text{с}$), общий объём воды — это вода поднятая каждым насосным агрегатом и при одинаковой мощности объём поднятой воды составляет $0.5 \text{ м}^3/\text{с}$.

На рис.1 показан объём подъёма воды трёх насосных агрегатов 1НА, 2НА, 3НА. Здесь 1НА–3НА–насосные агрегаты; Q_1 — номинальный расход воды для первого насосного агрегата; Q_2 — номинальный расход воды для второго насосного агрегата. [2].

Анализ эксплуатации насосной станции показывает, что регулирование насосных станций по требуемому расходу оросительной воды возможно только путём изменения некоторых технологических и электрических параметров.

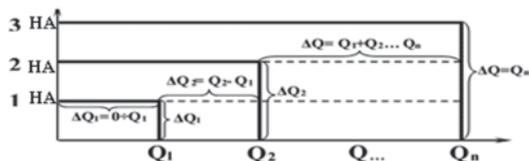


Рис. 1. Расход подъёма воды каждого агрегата

Литература

1. Турабеков А.О. Система машинного водоподъёма // ООО «EL-Press»-Карши, 2008, С. 57–65.
2. Уришев Б.У., Бейтуллаева Р.Х., и др. Влияние регулирования водоподдачи насосов на водоэнергетические параметры насосных станций // Сборник III Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы технических наук» г. Пермь, 2017, С. 85–87.

*Р.А. Матяшов, студент;
рук. Д.А. Эвок, ассистент (ЮУрГУ, Челябинск)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

В работе рассматривается проблема перегрева поверхностей фотоэлектрических модулей (ФЭМ), анализ влияния перегрева на работу ФЭМ при помощи числовой модели Sandia и моделирования в ПО MathCad и MatLab Simulink на примере конкретных солнечных модулей (СМ) [1], перечислены причины и возможные решения проблемы перегрева поверхности ФЭМ.

Данная проблема является актуальной, учитывая развитие солнечной энергетики [2] на территории РФ. Причины перегрева могут быть вызваны разными факторами, к таким относятся: условия окружающей среды, качество материалов, загрязнение, выход из строя диодов, токи утечки и т.п.

Значительное влияние на эффективность СМ оказывает температура окружающей среды. Известно, что чем больше инсоляция, тем больше электроэнергии могут выделить солнечные энергоустановки. Но это действительно только для умеренных температур (до 25°C). Чем горячее панель, тем меньше эффективность генерации электрической энергии. Такую зависимость можно наблюдать на вольт-амперных (ВАХ) и мощностных характеристиках ФЭМ. Для анализа влияния температуры на генерацию ФЭМ в работе разработана модель MathCad и MatLab, показывающая смещение рабочей точки ФЭМ в зависимости от температуры окружающей среды. В работе описаны несколько способов предотвращения перегрева — установка модулей с определённым зазором, для обеспечения хорошей вентиляции, использование систем охлаждения (активные и пассивные) и защиты (различные защитные покрытия).

Литература

1. **Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б.** Построение энергетических характеристик солнечных модулей с учетом условий окружающей среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. — 2020. — № 34. — С. 56–74.
2. **Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б.** Повышение энергетической эффективности работы солнечных модулей за счет снижения температуры поверхности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2020. — № 2. — С. 489–499.

М.В. Колягин, студ.;
рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

С увеличением масштабов электросетей и ростом потребностей в электроэнергии возрастает необходимость в надежных и эффективных системах защиты [1]. Высоковольтные выключатели, работающие на основе гидравлических механизмов, способны обеспечить высокую скорость и мощность, что критически важно для быстрого реагирования на аварийные ситуации.

Гидравлические механизмы имеют меньшее количество компонентов по сравнению с другими типами приводов, такими как пружинные или пневматические. Это делает их более надежными и стабильными в работе. Кроме того, они обладают высокой производительностью и долговечностью, что также является важным фактором для энергетических компаний.

Развитие гидравлических механизмов для высоковольтных выключателей началось еще до Второй мировой войны, когда в 420 кВ газовых выключателях были впервые применены гидравлические приводы [2]. Однако настоящая эволюция началась в 1950-х годах, когда были разработаны первые гидравлические механизмы для 230 кВ выключателей.

С тех пор технологии постоянно развивались. В 1960-х годах началось активное внедрение гидравлических механизмов в высоковольтные выключатели, что значительно повысило их производительность. В последние десятилетия наблюдается тенденция к интеграции гидравлических систем с электронными компонентами, что позволяет улучшить управление и мониторинг.

На сегодняшний день гидравлические механизмы для выключателей демонстрируют высокую степень интеграции и надежности. Они обеспечивают стабильную работу при различных условиях эксплуатации. Высокий уровень давления позволяет обеспечить необходимую скорость срабатывания и преодоление всех возникающих усилий.

Литература

1. **Шульга, Р.Н.** Вакуумные и элегазовые выключатели переменного и постоянного тока: учебное пособие / Р.Н. Шульга. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. — 220 с.
2. **LIU Wei, XU Bing, YANG HuaYong, ZHAO HongFei, WU JunHui** Hydraulic operating mechanisms for high voltage circuit breakers: Progress evolution and future trends // SCIENCE CHINA Technological Sciences. — 2011. — № 54. — С. 116–125.

Д.А. Юрьев, асп.;
рук. А.А. Дружинин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СВОБОДНОПОТОЧНЫХ ГИДРОТУРБИН

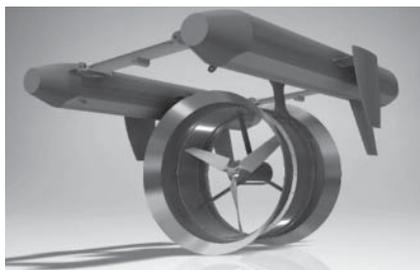


Рис. 1. 3D-модель свободнопоточной гидротурбины плавучего исполнения

Свободнопоточные гидротурбины (рис. 1) преобразуют кинетическую энергию потока в электрическую, исключая необходимость возведения плотин и сохраняя гидрологический режим рек, что делает их биобезопасным решением для малых водотоков и автономных потребителей.

Молодёжной лабораторией кафедры ГТМ НИУ «МЭИ» исследуются и апробируются новые подходы для таких типов гидротурбин: биомиметические технологии для повышения эффективности. Имитация бугорков, аналогичных плавникам Горбатого кита, улучшает обтекание лопастей, снижая потери и пульсации давления, что способствует повышению КПД [1]. Аналогичные исследования, по подобию строения жабр Гигантской акулы, способствуют эжекции потока и улучшению гидродинамических характеристик, что также повышает эффективность турбин [2]. Продолжающиеся исследования применения природоподобных и биобезопасных технологий актуальны и оптимизируются с целью улучшения гидродинамических характеристик, снижения потерь энергии.

Настоящие материалы подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей по теме «Разработка и экспериментальная апробация энергоисточника быстровозводимой конструкции усовершенствованными природоподобными подходами элементами проточной части».

Литература

1. Повышение эффективности малых и микрогидротурбин на основе применения природоподобных технологий для создания автономных источников энергии / А.А. Дружинин, Е.С. Орлова, А.В. Волков [и др.] // Теплоэнергетика. — 2019. — № 12. — С. 86–96. — DOI 10.1134/S0040363619120026. — EDN LNQSJF.
2. Оптимизация входных элементов проточной части малых осевых гидротурбин / А.В. Волков, А.А. Дружинин, В.Ю. Ляпин [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. — 2023. — Т. 16, № 2. — С. 79–86. — DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-2-79-86. — EDN BSVVYS.

Н.Д. Вахонин, асп.; рук. Р.В. Пугачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Технологии по интегрированию фотоэлектрических модулей в конструктивные элементы гражданских зданий активно применяются как в мире, так и в Российской Федерации. Для расширения области применения интегрированных фотоэлектрических модулей (ИФМ) необходима систематизация существующих решений, экономическая оценка применимости решений в климатических условиях Российской Федерации.

Основные критерии систематизации ИФМ: типы фотоэлектрических ячеек, типы конструкции, применяемых для интеграции фотоэлектрических модулей. Основные типы фотоэлектрических ячеек: кремниевые, перовскитные, органические, многопереходные, гибридные элементы. Основные типы конструкций ИФМ сгруппированы по положению в пространстве (горизонтальные и вертикальные), доступности изнутри здания. Классификация ИФЭ приведена в стандарте МЭК-63092-1-2020 [1]. Анализ коэффициентов полезного действия фотоэлектрических ячеек показал, что наиболее целесообразно применение ИФМ с кремниевыми монокристаллическими ячейками [2].

В ходе оценки экономической целесообразности ИФМ был проведен анализ применимости в 4 крупных городах, расположенных на южных широтах — в Сочи, Астрахани, Владикавказе и Владивостоке. Расчет был проведен для крышных и фасадных ИФМ. Угол наклона крышных ИФМ относительно горизонта был оптимизирован на основе критерия максимизации выработки электрической энергии. В результате расчетов был определен срок окупаемости для крышных и фасадных ИФМ. Наиболее экономически целесообразно применения крышных ИФМ в городе Сочи, срок окупаемости — 16 лет. Капитальные и эксплуатационные затраты для расчета срока окупаемости были приняты в соответствии с [2].

Таким образом, в ходе проведения исследования было определено, что наиболее перспективно применение ИФМ на основе монокристаллических кремниевых фотоэлектрических ячеек, перспективный регион применения ИФМ — город Сочи.

Литература

1. МЭК-63092-1-2020. Фотоэлектрическая энергетика в зданиях. Часть 1. Требования к встроенным в здание фотоэлектрическим модулям.
2. **H. Gholami; Harald Nils Røstvik.** Economic analysis of BIPV systems as a building envelope material for building skins in Europe.

Мин Тант Кьо, студ.; рук. П.С. Шуркалов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЬЯНМЕ

Мьянма, обладая значительными солнечными ресурсами, сталкивается с вызовами в обеспечении устойчивого энергоснабжения. Сегодня уровень электрификации страны составляет около 50%, причём в сельских районах доступ к электроэнергии крайне ограничен. Большая часть выработки приходится на гидроэнергетику (54%) и природный газ (41%), что делает энергосистему зависимой от климатических и ресурсных факторов [1].

Солнечная энергия рассматривается как перспективное решение для регионов, не подключённых к национальной энергосети, особенно в центральной части Мьянмы, где климатические условия способствуют эффективной эксплуатации солнечных фотоэлектрических установок.

В рамках работы проведён анализ данных по солнечной радиации (СР) для города Мейкхила с использованием локальных измерений и международных баз данных (МБД) NASA и PVGIS [2, 3]. Были выявлены различия между источниками информации, а для дальнейших исследований выбрана МБД NASA, как предоставляющая данные, наиболее приближенные к реальным. С использованием выбранной МБД получена информация по СР для деревни Пыинтар, расположенной неподалёку от г. Мейкхила и не имеющей подключения к энергосистеме. Для частных домохозяйств деревни проведён расчёт суточных графиков нагрузки, что необходимо для определения оптимальной конфигурации солнечной электростанции (СЭС) с учётом трёх характерных для Мьянмы сезонов: жаркого, влажного и сухого.

Для краткосрочного планирования энергоснабжения деревни предложена методика расчёта, учитывающая специфику энергопотребления и климатические факторы рассматриваемого региона. Она же позволяет провести оценку перспектив интеграции СЭС и в другие районы, не имеющие подключения к энергосистеме, тем самым предоставляя возможность для дальнейшего развития энергетики Мьянмы.

Литература

1. **Ministry of Electric Power / The Republic of the Union of Myanmar** [Электронный ресурс]. — 2024. — URL: <https://www.moe.gov.mm>.
2. **NASA Power Data Access Viewer / NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources** [Электронный ресурс]. — 2024. — URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
3. **Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS 5.3) / European Commission** [Электронный ресурс]. — 2024. — URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.

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 62

ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН

Industrial and media design

Председатель секции:

к.ф.н., доцент Панкратова Александра Владимировна

Секретарь секции: Чახеева Екатерина Ивановна

С.С. Баранова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТРАДИЦИЙ КИТАЯ НА СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН

Древний Китай — это цивилизация с многотысячелетней историей, которая оставила глубокий след в самых различных аспектах жизни народа. Ниже рассмотрим влияние, оказанное на современных дизайнеров традициями Древнего Китая.

Даосизм, конфуцианство и фэн-шуй — основные философские направления Китая, главными идеями которых является баланс, уважение и гармония между человеком и природой. Эти принципы находят отражение в современном дизайне, например, «Зелёный дом» в Пекине. Архитектор Ли Сяодонгом благодаря сочетанию строительных материалов и зеленых растений в проекте соединил городскую среду и умиротворённую природу воедино. Не менее ярким примером является использование зелёных крыш в дизайне современной архитектуры.

Традиционные китайские узоры, иероглифы, использование изображения драконов и цветов лотоса, часто используются дизайнерами в проектах. Они адаптируют эти элементы к современности, совмещают древнюю Азию и тренды сегодняшнего дня.

Например, шрифт «Microsoft YaHei» отличается утонченностью и использованием традиционных элементов китайской каллиграфии. Многие символы несут смысл, который вкладывают художники. Для сравнения, логотип «Air China» не менее интересен для рассмотрения, в нем дизайнеры сочетают те же узоры, имеющие корни в древнекитайской традиционной живописи.

Архитектурные традиции Древнего Китая, включая пагоды и дворцы, вдохновляют современных архитекторов на создание зданий, которые в полной мере отражают культуру Китая. Ярким примером является музей Гугун в Пекине архитектора Куан Сиань. В своем проекте он выразительно демонстрирует культурное наследие страны. Использование открытых планировок, садов и водных композиций помогают создать гармоничное пространство, что показывает влияние философии древнего Китая.

Таким образом, обращаясь к традициям древнего Китая, дизайнеры вдохновляются культурными аспектами и делают уникальные и гармоничные произведения дизайна и архитектуры, которые помогают сохранять историческое наследие, при этом оставаясь актуальными в наше время.

Г.П. Кузнецов, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОТСЫЛКИ К СРЕДНИМ ВЕКAM В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Предметом исследования является проявление темы Средневековья в современном дизайне. Рассуждая на предмет проявления средневековой темы в современном дизайне в контексте архитектуры, можно упомянуть возникшее в XIX веке дизайнерское движение под названием Готическое возрождение, появившееся в Англии и стремящееся возродить «национальную классику», присущую Англии. В связи с этим будет уместно привести и рассмотреть пример, в котором было бы возможно проследить и отметить черты и элементы, указывающие на обращение автора к теме Средневековья. Таким примером может стать здание галереи современного и модернистского искусства Tate Modern в Лондоне. Спроектированное швейцарским дизайнером здание галереи отсылает к эпохе Средневековья за счёт используемых натуральных материалов — кирпича, из которого выполнен фасад здания.

Рассуждая о иной отличительной характеристике Средневековой темы, хочется затронуть тему Каллиграфии — одной из отраслей изобразительного искусства, широко развивающейся в Европе в период Средневековья. Основной чертой каллиграфии является искусное оформление знаков письма, в экспрессивной манере. Примером современного автора, чьё творчество зиждется на использовании каллиграфии, является русский художник Покрас Лампас, чьи творения в большей своей степени состоят из текстов, написанных в технике каллиграфии.

Рассуждая на тему богато украшенного декора, который является характерной особенностью средневековой архитектуры, с замысловатой резьбой и скульптурами, которые украшали здания как внутри, так и снаружи, можно привести пример сооружения, в котором эти черты были бы явно заметны. Таковым может являться отель Four Seasons George V в Париже, спроектированный Пьером-Ивом Рошоном, украшен замысловатой резьбой и скульптурами, которые черпают вдохновение в средневековой архитектуре, а также используют современные материалы и технологии.

Влияние средневековой эстетики на современный дизайн неоспоримо. Мы можем увидеть ее в архитектуре современных зданий, в узорах на текстиле и обоях, в форме и декоре мебели. Поскольку наше общество продолжает развиваться, становится ясно, что средневековая эстетика будет продолжать играть немаловажную роль в формировании нашего общества — одновременно технологически продвинутого и богатого в культурном отношении.

Ю.А. Середа, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ НА СОВРЕМННЫЙ ДИЗАЙН

Мир вещей культуры Древней Греции значительно повлиял на современный дизайн, как промышленный, так и визуальный. Принципы её моды, архитектуры и интерьера стали фундаментом современной среды.

В частности, такой элемент древнегреческой архитектуры как колонны. Преимущественно они сделаны из мрамора и используются в постройке музеев, городских зданий и частной собственности. В Москве также можно увидеть примеры использования данной детали. Например, Государственный музей А.С. Пушкина. Архитектура здания напоминает античный храм на высоком подиуме. Фасадные стены оформлены белым уральским мрамором, отличающимся особой морозостойкостью. Удивляет не только красота колоннады, но и то, что музей имеет два парадных фасада, поскольку здание угловое (располагается на Пречистенке и Хрущевском переулке). Особенно красив вид фасада, выходящего в Хрущёвский переулок: имеет сдвоенные колонны и богатый декор лепниной на белокаменном цоколе.

Нельзя не упомянуть влияние греков и на моду: в Древней Греции одежда была свободной, с большим количеством драпировок. Подобный покрой присутствует в повседневном гардеробе и сейчас. Например, в парижском показе Chanel 2018 года: во многих образах использовались венки, так как в древней Греции они ассоциировались с божественной сущностью, хитон, сандалии, меандр и асимметрия. Данные элементы применялись и в сицилийской коллекции модного дома Dolce&Gabbana в 2022 году: изображения керамических ваз и греческого орнамента на платьях, сшитых, в основном из шёлка и хлопка, а также использование драпировок, золота и аксессуаров. Преимущественно данный стиль применяется в женской одежде, из мужской он почти полностью исчез.

Влияние греков распространилось также на обувь. Наиболее распространены были сандалии. В современности большим спросом пользуются иподиматы и крепиды. Они тоже широко использовались в вышеуказанных коллекциях. Обувь греков очень удобна и практична, потому ее усовершенствованные модели ныне пользуются большой популярностью в теплое время года.

Таким образом, четко прослеживается влияние Древней Греции на современный дизайн. Греки очень ценили функциональность и удобство вещей, а также эстетическую составляющую, потому их изобретениями пользуются даже в современном мире. Открытия, совершенные в ту эпоху актуальны и на сегодняшний день.

Е. Д. Макеева, студ.;
рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ДРЕВНЕРИМСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ ИНТЕРЬЕРА

Римляне — серьёзный народ, для которого архитектура и дизайн играли огромную роль в создании благородных обликов помещений. Возможно поэтому римский стиль используется больше в дизайне интерьера, а не костюма. Мало кто заметит элементы этого стиля в современной одежде, в отличие от жилого пространства.

В статье покажем, как римский стиль повлиял на современный интерьер. Археологические раскопки помогли сформировать представление о характерных чертах римского стиля. Одна из них, самая важная, — использование арок, колонн и портиков. В современном интерьере часто можно встретить массивные колонны, а также высокие потолки, которые передают ощущение устойчивости. Дизайнеры охарактеризовали этот интерьер как: «Роскошь и богемность в сочетании с умеренностью».

Для того чтобы организовать пространство в римском стиле, нужно иметь большое количество средств, так как основу данного стиля составляет камень во всех проявлениях, чаще всего, это мрамор. Также наличие дорогих тканей — важная черта римского стиля. Это такие ткани как шёлк, лён или кожа. Часто покрывала, пледы и подушки украшаются золотым узором. Как добиться умеренности? Цвета в интерьере должны быть максимально приближены к цветам натуральных красителей. В таком случае используют белый, бежевый, коричневый и чёрный. Дизайнеры с осторожностью подходят к использованию ярких цветов в римском интерьере, а именно пурпурного, охры, зелёного, синего. Они могут быть добавлены в общую картину в качестве акцентов, чтобы сделать интерьер более интересным. В отделке стен обычно используется штукатурка, она придаёт интерьеру гладкость. Также невозможно представить римский стиль без симметрии. Она должна присутствовать как в геометрии помещения, так и в расстановке мебели.

В наше время сложно назвать конкретные здания, в которых интерьер полностью будет выполнен в римском стиле. Однако есть несколько примеров зданий, где римский стиль играет значительную роль. «The Peninsula Paris» — это роскошный отель, который находится во Франции в Париже. В его интерьере присутствуют мраморные полы, колонны и арки. Ресторан «The Roman Forum» в Нью-Йорке также содержит элементы, присущие римскому стилю, а именно наличие мрамора, колонн и мозаики

Таким образом, влияние Древнего Рима до сих пор присутствует в мире дизайна интерьера.

А.С. Орлова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИМПЛИЦИТНОЕ ВЛИЯНИЕ ЕГИПТА НА СОВРЕМЕННУЮ ДИЗАЙН-СРЕДУ

Древний Египет оказал значительное влияние на современный дизайн, особенно в архитектуре, графическом дизайне, интерьере и моде. Многочисленные элементы египетской культуры, такие как формы, символы и стили, нашли своё применение и переосмысление в современных интерпретациях. Можно увидеть некоторые формы, разработанные в Египте, в современном промышленном дизайне.

Первое заметное влияние Древнего Египта проявляется в архитектуре. Пирамиды и монументальные храмы с их геометрической точностью и массивностью вдохновляют архитекторов и сегодня. Симметричные, простые формы, такие как пирамиды и обелиски, продолжают использоваться в современности для создания визуальной стабильности и символичности. Пример: Стекланные пирамиды музея Лувра вдохновлены египетскими пирамидами, а также казино «Luxor» в Лас-Вегасе.

Второе, египетские декоративные мотивы и орнаменты оказали влияние на развитие графического дизайна и декоративного искусства. Символы, такие как глаз Гора, сфинксы, скарабеи, и др., широко используются в ювелирных изделиях, логотипах. Их стильные, лаконичные формы и глубокий символизм обеспечили им долговечность в дизайне. Примером ювелирных изделий служат бренды: Tiffany & Co, Bvlgari, Cartier. В графическом дизайне: Айдендика музыкального фестиваля Burning Man, где используются древнеегипетские символы в постерах и декорациях. А также, обложки музыкальных альбомов группы «Sphinx» с египетскими мотивами.

Третье, влияние в интерьере, моде и промышленном дизайне. В оформлении интерьеров и в элементах мебели и даже техники широко применяются мотивы древнеегипетских колонн, пирамид. Позолоченные элементы, яркие цвета, геометрические узоры. Многие предметы мебели вдохновлены древнеегипетскими артефактами. В моде дизайнеры часто используют силуэты, напоминающие одеяния фараонов, а также принты с иероглифами, изображениями богов. Примером служат коллекции таких брендов как: Givenchy, Balman, Chanel.

Влияние Древнего Египта на современный дизайн огромно. Оно стало источником вдохновения для создания нового, переосмысленного искусства, которое сохраняет связь с великой культурой прошлого, но адаптировано под потребности и вкусы сегодняшнего дня.

Д.А. Ефремова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСТОКИ ТУНИКИ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Главным элементом любого римского наряда — вне зависимости от пола — являлась туника. Она представляла собой кусок полотна, скреплявшийся на плечах и подпоясывавшийся на талии. Мужчины носили тунику с коротким рукавом, в то время как длинный предпочитали преимущественно женщины.

Верхняя одежда мужчин могла различаться по статусу, возрасту и мероприятию, на которое её надевали. Главным и официальным атрибутом мужского наряда являлась тога. Немалую роль играл цвет тоги. Например, нейтральные и натуральные цвета в основном носили небогатые люди. Пурпурный, красный, желтый и другие красители могли себе позволить только высший класс и император. Женщины поверх туники надевали столу, без которой выход в свет был просто невозможен по этическим соображениям. Также на выбор была палла с капюшоном — мантия, которую скрепляли брошами на плечах.

Что касается современности, в наше время до сих пор некоторые носят туники, однако они сменили свой внешний вид и значительно укоротились. На данный момент туника стала предметом преимущественно женского гардероба. Также образом древнеримской туники являются длинные свободные майки без рукавов. Как таковая тога исчезла из гардероба современного человека, так как это непрактично и в нынешних реалиях попросту слишком дорого. Однако, тоги граждан Древнего Рима можно сравнить с палантином, который можно повязать на плече или скрепить брошью. Более косвенной отсылкой к Древнему Риму является струящаяся ткань или драпировки в одежде. Также современные модные дома цитируют римскую классику. Одной из таких коллекций стала коллекция Christian Dior Haute Couture весна-лето 2020 «What if women ruled the world». В ней представлены различные предметы одежды, вдохновлённые модой этой эпохи.

Изучив данную тему, мы пришли к выводу, что мода Древнего Рима не получила такого широкого распространения в современном мире моды, как мода Древней Греции. Безусловно, некоторое влияние прослеживается, но оно не глобально и не прямолинейно. Римляне чувствовали себя наследниками греков на ранних этапах, отсюда такая схожесть в фасонах одежды, ведь они во многом позаимствовали их.

Форма и крой туники активно используются в современном дизайне в промышленных масштабах, так как это универсальная форма, идеально подходящая для массового производства.

А.Д. Храмцова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВИЗАНТИЙСКИЙ СТИЛЬ В СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ И МЕДИА ДИЗАЙНЕ

От византийских мозаик к современному дизайну: вечный вдохновитель Византия, цивилизация, оставившая яркий след в истории, продолжает вдохновлять дизайнеров и художников в наши дни. Богатство орнаментов, великолепие мозаик, изысканность иконописи — всё это находит отклик в современном искусстве и дизайне.

Византийские мотивы, характерные для архитектуры, — это геометрические узоры, такие как кресты, ромбы, звезды, активно используются в современных интерьерах. Купола и арки находят применение в современном дизайне, например, в здании государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина в Москве.

Византийские мотивы в дизайне интерьеров. Например, мозаика, мозаичные панно, имитирующие византийские образцы, приносят в интерьеры роскошь и экзотику. Золото и драгоценные камни в декоре — дань традициям византийской роскоши. Мотивы византийской иконописи вдохновляют современных художников и дизайнеров на создание произведений искусства, несущих в себе духовную глубину и эстетическое совершенство.

Византийские мотивы присутствуют и в графическом дизайне. Византийские шрифты с их изысканной формой и сложной структурой широко используются в графическом дизайне, придавая проектам неповторимый стиль и историческую глубину. Орнаменты, характерные для византийской культуры, с изображениями птиц, животных и растений, находят применение в создании оригинальных графических композиций.

Византийский стиль одежды, до сих пор вдохновляет модельеров. Византийские императоры славились своей роскошью и великолепием. Их одежда, украшенная золотой вышивкой, драгоценными камнями и богатыми тканями, служила символом власти и богатства. К Византии в разное время обращались Dolce&Gabbana, Chanel, Valentino, Alexander McQueen. Самыми запоминающимися были Dolce&Gabbana в 2014 году, которые вдохновлялись византийскими фресками в соборах Сицилии. Коллекция включала бархатные и атласные платья, украшенные золотыми византийскими орнаментами и драгоценными камнями.

Византийское искусство, несмотря на свою историческую дистанцию, продолжает вдохновлять современных дизайнеров, принося в дизайн элегантность, роскошь и историческую глубину. В этом и заключается уникальность Византии, способной перешагнуть через столетия и оставаться вечным источником вдохновения для творцов.

Е.В. Яковлева, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЯВЛЕНИЯ РОМАНСКОГО СТИЛЯ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ

Каждый новый архитектурный стиль заимствует что-либо важное для своего времени от предшествующих. И романский стиль также стал источником вдохновения для современных дизайнеров. Романский стиль отличался массивностью, устойчивостью, статичностью. Здание состояло из простых форм, имело толстые, прочные стены, в которых были узкие арочные окна, закрытые решетками, в интерьере использовалось минимум декора. Анализируя интерьер, мы находим отголоски романизма не только в современном стиле, но и в постмодернизме. В романике часто использовалась аркатура. В постмодернизме арки можно заметить, как в самой архитектуре здания, так и в мебели, и в деталях декора. Использование камня или кирпича, колонны, арки, высокие потолки также являются отголосками романского стиля. За примером можно обратиться к работам дизайнера Марио Ботта, в них отчетливо заметны элементы романики. Говоря о промышленном дизайне, можно заметить, что многим экземплярам мебели присущи черты романизма. Например, стулья или кресла имеют прямые спинки, ножки и подлокотники. Диваны могут быть сделаны по такому же принципу и состоять из геометрических форм. В современном дизайне редко ставят задачу добиться строгого соответствия романскому стилю — слишком грубым и холодным кажется современному человеку интерьер холодного средневекового замка. Но вот отдельные элементы романского стиля достаточно часто используются и сейчас в промышленном дизайне. Например, тенденция на минимализм. В эпоху романизма декор не был необходим и считался атрибутом роскоши. Сейчас же люди вернулись к такому стилю из-за усталости от визуального шума в прошлом. Стены, потолки и мебель обычно однотонные, часто используют натуральные материалы, такие как камень и дерево. Также можно заметить, что современный дизайн довольно статичен и спокоен, как и в романском стиле. Такой эффект достигается использованием прямых линий и простых геометрических форм. Отдельные элементы, такие как подвесные круглые люстры и кровать с балдахином, также взяты из романского стиля. Некоторые черты романизма используются до сих пор. Однако их использование в дизайне совершенно разное: в то время как постмодерне эти черты можно в основном увидеть именно в мебели или декоре, в современных стилях они больше проявляются в самой концепции интерьеров, например, через минимализм и устойчивость, статичность. Таким образом, романский стиль довольно схож с современным своим минимализмом и использованием нейтральных цветов.

Т.М. Сахнова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ИНДИЙСКОЙ КУЛЬТУРЫ НА СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН

Любая культура, так или иначе, влияет на развитие дизайна. Культура Древней Индии не является исключением. Сложно представить мировой дизайн без ярких цветов и необычных форм, характерных для искусства этой страны.

Говоря о характерных чертах искусства Древней Индии, стоит упомянуть яркость цветовой гаммы, узнаваемый национальный орнамент, изображение божеств и другие интересные особенности. Основой, на которую опирается дизайн Индии — система Васту-Шастра, напоминающая по своему основному смыслу китайский Фэн-Шуй. Опираясь на Васту, можно точно сказать, что идеальным очертанием для помещения является прямоугольник или квадрат. Данная тенденция легко заметна и в современном дизайне. Также в наши дни дизайнеры не отказываются от использования характерной для Индии цветовой гаммы. Часто цвета могут напоминать палитру традиционных специй, например, карри или тмина. С подобными землистыми оттенками часто используются синий, бирюзовый, зелёный цвета. Также может использоваться серебро, золото и бронзы.

Для орнаментов в Индии характерны растительные мотивы, изображение различных животных и солнца. Одними из самых известных орнаментов является пейсли и мандала. Такие орнаменты можно встретить в современном графическом дизайне, а мандалы даже используются в качестве арт-терапии. В одежде эти принты используют такие модные дома как Ralph Lauren, Dolce & Gabbana и др.

Также стоит упомянуть особенности темы Индии в дизайне интерьера и в промышленном дизайне. Крайне часто используются разные виды текстиля, например, шёлк или лён. В качестве декора используются изделия с бахромой и кистями, растения и керамика. Мебель чаще всего изготавливается из темного дерева и бамбука с использованием яркой цветной текстильной обивки. Как упоминалось выше, в индийском дизайне используются и металлы. Часто можно увидеть предметы мебели с использованием ковки.

Таким образом, можно сказать, что тема Древней Индии имеет огромное влияние на современный дизайн, и индийские мотивы можно заметить в огромном количестве современных дизайнерских проектов, как в интерьере, так и в графической продукции.

Е.Д. Арестова, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ АНТИЧНОЙ МОДЫ НА СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН

В Древней Греции изящество в одежде достигалось благодаря умению драпировать вокруг себя прямоугольный кусок материи. Именно эта древнейшая цивилизация заложила тот культурный и творческий фундамент, который является основой многих современных дизайнеров.

Особое внимание стоит уделить женской моде, ведь именно ее отголоски нашли место в нашем времени. Дизайнеры трактуют по-разному наследие предков. Так, известнейший модельер — Карл Лагерфельд для Chanel 2018 года «Chanel Resort 2018» создал коллекцию женских образов, содержащую некоторые изделия с принтами — орнаментами древних греков. Силуэты платьев напоминали одеяние того времени — хитон, на ногах моделей были зашнурованные сандалии, что стало также прямой отсылкой к прошлому. Волосы девушек были собраны и украшены повязками и ободками, как было принято в античности. Особое внимание дизайнер уделил и украшениям на моделях, ведь они были в обиходе почти у каждой гречанки: золотые серьги, браслеты, ожерелья — можно разглядеть в образах показа.

Еще можно обратить внимание на коллекцию Christian Dior Couture весна 2022. На показе видим не прямое воспроизведение прошлого, но явная отсылка присутствует — сдержанные закрытые образы. Большинство из них не стремятся облегать фигуру, а ткани одежд создают драпировки. У моделей на глазах подводка, что было модно у гречанок, вследствие торговли с Египтом.

Античность также занимает неотъемлемую часть итальянского дома — Versace. Можно сказать, что культура Древней Греции, отчасти, стала ДНК бренда. Так, «золотая» коллекция Донателлы Версаче уже вошла в историю моды. Известнейшие модели 90-ых вышли на подиум в золотых драпированных платьях, фосон которых был также вдохновлен хитоном. Если смотреть другие коллекции, то можно заметить, что модный дом перенял любовь к вышивке на одежде (даже классических греческих орнаментов) и ту сильную любовь к украшениям.

Таким образом, говоря о влиянии на нынешние тенденции, можно заметить, что в образе современных девушек прослеживаются отголоски прошлого, благодаря дизайнерам, не утратившим любовь к сложным драпировкам, которые придают их творениям особый шарм. В моде остается идея дополнять наряды украшениями и аксессуарами. Большинство девушек экспериментируют с прическами, не задумываясь делая отсылки к прошлому, а косметика играет важную роль в создании ярких и выразительных образов.

*К.А. Примак, студ.;
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ДРЕВНЕГО РИМА НА СОВРЕМЕННЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН

От архитектуры до моды элементы римской культуры проникают в нашу повседневную жизнь, вдохновляя дизайнеров и художников в их творчестве. Древние Римляне были серьезным и воинственным народом, что хорошо отслеживается во всех сферах их искусства.

Римская архитектура известна на весь мир величественными сооружениями, такими как акведуки, амфитеатры и храмы. В дизайне интерьера используются арки, колонны, открытые пространства для того, чтобы передать величие и свободу стиля. Римская мебель характеризовалась простотой и практичностью. Сегодня дизайнеры возрождают эти традиции, создавая предметы, которые сочетают в себе стиль и функциональность. Многие современные коллекции мебели используют линии и формы, вдохновленные классической римской эстетикой, а также натуральные материалы, такие как дерево и мрамор. Хотя современная лепнина не изготавливается из мрамора или камня, дизайнеры по-прежнему часто используют эти материалы для столешниц, напольного покрытия и многого другого. Сложно привести конкретные известные примеры интерьера в римском стиле, так как его отдельные элементы популярны в дизайне миллионов современных квартир. Однако одним из современных примеров римского интерьера являются апартаменты в римском квартале Прати, созданные архитектурной студией MORQ для заказчицы Нии Ферранте. Хозяйка попросила создать современный интерьер, сохранив элементы оригинальной архитектуры.

Римская мода, в частности, тога и туника, вдохновила дизайнеров на создание платьев с драпировкой и сложным кроем. Современные модельеры неоднократно вдохновляются римской модой. Это прекрасно отслеживается в таких показах, как Chanel Cruise 2018, The Row 2024, а также в костюме Зендеи на Met Gala 2019 видны веяния моды Древнего Рима.

Шрифты с засечками, такие как Times New Roman и Garamond, имеют римское происхождение. Они вдохновлены римскими капителями и имеют характерные «засечки» на концах букв, которые придают им определенную строгость и утонченность. Графические дизайнеры используют эти шрифты, создавая привлекательную и легко читаемую типографику.

Таким образом, влияние искусства Древнего Рима на современный дизайн велико. Римский стиль со своими традициями имеет огромное влияние на современное искусство. Эта тема очень популярна и сейчас, так как она прослеживается во всех сферах дизайна и не теряет своей актуальности.

Секция 63

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Electric power in the military

Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович

Секретарь секции: Силаев Дмитрий Александрович

В.И. Павлов, студ.; рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц.

МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СЛЕДЯЩЕГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ

К современным системам получения радиолокационной информации предъявляются высокие требования точности и быстродействия. Эти требования реализуются с помощью измерительных систем, использующих алгоритмы сглаживания текущих оценок, что значительно повышает их качество. При параллельном способе получения текущих оценок координат нескольких объектов возникают трудности с построением многоканальных систем сопровождения, которые могут быть преодолены путем применения программно-аппаратных средств на основе программируемых логических схем (ПЛИС) Это обстоятельство и определяет актуальность исследования.

Цель исследования: повысить точность и быстродействие измерений угловых координат в пеленгаторе сигналов за счет применения параллельной архитектуры вычислений. Основная задача состоит в разработке и моделировании параллельного следящего измерителя угловых координат.

Основная идея построения многоканального измерителя основана на возможностях ПЛИС выполнения параллельных вычислений на аппаратном уровне. Это обеспечивает высокую производительность и уменьшение времени обработки. Алгоритм сглаживания текущих оценок координат обеспечивает непрерывный мониторинг угловых координат движущихся объектов.

Для моделирования системы использовалась среда разработки MATLAB, которая имеет модуль структурного моделирования и обеспечивает тестирование модели в различных условиях.

Заключение: результаты исследования подтверждают эффективность предложенной модели параллельного следящего измерителя угловых координат. Основные преимущества заключаются в высокой точности, быстродействии и адаптивности системы.

Литература

1. **Рембовский А.М.** Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. — 3-е изд., перераб. и доп. — М: Горячая линия — Телеком, 2012. — 640 с: ил.

*С.В. Терентьев, С.А. Дорошева, В.И. Павлов, студенты;
рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МАКЕТ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО СИГНАЛАМ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в гражданских, так и в военных целях. Причиной такого широкого использования БПЛА является технологический скачок, и как следствие, появление на рынке большого количества летательных аппаратов данного класса, имеющих высокие тактико-технические характеристики и малую стоимость.

Особенности управления такими системами, использующими сложные режимы полета на предельно малых высотах в сочетании с маневром, повышают выживаемость БПЛА. ПВО. Таким образом, задача обнаружения БПЛА данного класса как нельзя актуальна.

Цель: целью доклада является рассмотрение способа обнаружения малоразмерных летательных аппаратов по сигналам каналов управления, основанного на корреляционном интерферометрическом измерителе и физической модели пеленгатора.

В докладе будут представлены как теоретические положения, лежащие в основе решения задачи пеленгования сигналов, так и конкретные технические решения и результаты экспериментов с лабораторными экземплярами новых средств пеленгования.

Основными результатами представляемой работы будут:

1. Действующий макет системы обнаружения малоразмерных летательных аппаратов по сигналам каналов управления;
2. Экспериментальные оценки основных параметров системы обнаружения малоразмерных летательных аппаратов по сигналам каналов управления.

Заключение: пеленгаторы применяются для обнаружения несанкционированных источников радиоизлучения что может помочь в обеспечении безопасности стратегически важных объектов.

Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. — 3-е изд., перераб. и доп. ISBN 978-5-9912-0236-7.

*М.А. Черемных, студ.; П.С. Яцко, курсант;
рук. Э.К. Рзаев, старший преподаватель военного учебного
центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук. В.И. Рубинов, к.т.н., доц. (ВУНЦ ВВС«ВВА»)*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ПЕРИОДИЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ НА СОВРЕМЕННОМ ВОЗДУШНОМ СУДНЕ

Рассмотрим постановку задачи определения расчета выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) элементов современного воздушного судна (ВС) при которой вероятность безотказной работы этих элементов будет не менее заданной величины $P_0 < 1$. Расчет такой периодичности должен будет выполняться для всех элементов ВС и при этом значение P_0 должно определяться на основании категории тяжести последствий отказов. Рассмотрим поставку данной задачи когда в интервале между ТОиР возникает отказ. Пусть $t_{отк}$ это момент наступления отказа рассматриваемого элемента и при этом время будем отсчитывать от момента предыдущего восстановления. После наступления отказа элемента происходит «мгновенное» его восстановление, а затем возобновляется процесс эксплуатации с первоначальными характеристиками надежности. Для заданного интервала $t_{ТОиР}$ предлагается определять среднюю вероятность отказа по следующей формуле[1]:

$$\hat{Q}_{t_{ТОиР}} = \frac{1}{t_{ТОиР}} \left(\frac{t_{отк}^2}{2t_{cp}} + \frac{(t_{ТОиР} - t_{отк})^2}{2t_{cp}} \right). \quad (1)$$

Полагая, что $t_{отк} = kt_{ТОиР}$ ($k \leq 1$) и выполняя элементарные преобразования, получим:

$$\hat{Q}_{t_{ТОиР}} = \frac{t_{ТОиР}}{2t_{cp}} \gamma_1, \quad (2)$$

где $\gamma_1 = 2k(k - 1) + 1$.

Номенклатура элементов ВС, подлежащих ТОиР в установленные периоды, предлагается определять при помощи следующего условия:

$$T_{j+1} > t_{ТОиРi} \geq T_j \quad (j = 1 \dots k). \quad (3)$$

где $T_1, T_2 \dots T_k$ — установленные нормативными (руководящими) документами сроки выполнения работ по ТОиР в порядке их возрастания, $t_{ТОиРi}$ ($i = 1 \dots L$) — полученное в результате расчета значение периодичности ТОиР для i -ого элемента ВС.

Таким образом, рассмотренный подход позволит сократить время отводимое на выполнение ТОиР, при возникновении отказа между ТОиР

Литература

1. **Судов С.С.** Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова М.: ООО Издательский дом «Ин-форм Бюро», 2006.

*П.А. Беляев, студ.; рук. Д.А. Силаев, заместитель начальника
военного учебного центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук В.В. Данилов, начальник производства
ООО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ОПТОН»*

ИННОВАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ВПК И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ НПП «ОПТОН»: ОТ ИДЕЙ К РЕАЛИЗАЦИИ

Искусственный интеллект (ИИ) открывает новые горизонты для модернизации военно-промышленного комплекса (ВПК) и производственных процессов, особенно в условиях глобальных вызовов и санкций. На базе НПП «ОПТОН» реализуются инициативы, направленные на повышение технологической независимости и эффективности. Интеграция ИИ позволяет автоматизировать ключевые процессы, включая планирование, предиктивный анализ и обеспечение информационной безопасности.

В рамках работы разработаны уникальные алгоритмы машинного обучения и интеллектуальные системы управления, адаптированные к специфике ВПК. Они позволяют прогнозировать отказы, оптимизировать цепочки поставок и адаптировать производство к изменяющимся условиям.

Внедрение новых технологий на НПП «ОПТОН» приведёт к значительному улучшению показателей: сокращение дефектов на 40%, снижение энергозатрат на 15% и повышение скорости логистических операций. Эти разработки могут быть использованы на других предприятиях ВПК и в гражданской промышленности.

Полученные данные создают основу для формирования единой экосистемы на базе ИИ, способной обеспечить устойчивое развитие и конкурентоспособность отечественной промышленности.

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. Искусственный интеллект в промышленности: современные подходы и решения / Под ред. И.А. Иванова. — М.: Техносфера, 2020. 400 с.

*П.А. Беляев, студ.; П.С. Яцко, курсант;
рук. Д.А. Силаев, заместитель начальника военного учебного
центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук. В.И. Рубинов, к.т.н., доц. (ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж)*

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Автоматическая информационная система (АИС) характеризуется множеством входов и выходов. Вход такой системы, состоящий из конечного числа входных параметров будет определяться местом расположения в пространстве и характеристиками сигналов, несущих входную информацию. Чтобы задать вход АИС необходимо будет определить состав входных параметров по их расположению в пространстве и дать характеристику входных сигналов [1]. Таким образом, совокупность входных сигналов $x_i(t)$ для всех входов АИС будем называть входной траекторией системы или поведением входа системы и обозначим через многомерную вектор-функцию $X(t)$, координаты которой соответствуют этим входным сигналам $x_i(t)$ отдельных входов системы. Способ задания выходов АИС в принципе ничем не будет отличается от задания входов. Выходом АИС могут являться показания стрелки приборов; загорание лампочки; кодированный сигнал, поступающий на ЭВМ и т.д. Для задания совокупности выходов АИС необходимо будет определить множество выходов Y , их патологию, т.е. расположение в пространстве, форму существования сигналов или основные параметры выходных информационных потоков. Зависимости выходных сигналов $y_j(t)$ АИС от времени для всех выходов будем называть выходной траекторией или поведением выхода системы и обозначим через $Y(t)$. Изменение входов АИС и её выходов во времени будет определять траекторию движения самой системы и при этом закон функционирования может быть представлен в виде многомерного оператора. При этом закон функционирования АИС может быть представлен в виде функции, функционала, логических условий, таблицы соответствий или словесного правила соответствия.

Таким образом можно утверждать, что состав множества X и Y непосредственно оказывает влияние на важнейшие характеристики АИС, например такие как объем передаваемой информации, быстрдействие, и т.п.

Литература

1. Кубрин С.С., Кучерин В.Н., Иванов И.М. Автоматическая информационная система: учебное пособие. М: ТРАНСЛИТ, 2018, 96 с.

*П.А. Беляев, студ.; П.С. Яцко, курсант;
рук. Д.А. Силаев, заместитель начальника военного учебного
центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук. В.И. Рубинов, к.т.н., доц. (ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж)*

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Анализ современного направления развития бортовой измерительной аппаратуры используемой на борту воздушного судна (ВС) показал, что оптимальное решение этой задачи следует искать на основе создания комплексной измерительной навигационной системы (КИНС), которая бы смогла обеспечить полное информационное обслуживание всех систем и устройств ВС на всех режимах его полета. Отличительной особенностью предлагаемой КИНС от комплекса современного бортового оборудования, состоящего из отдельных, не связанных между собой систем и приборов, является то, что для выработки выходных сигналов КИНС одновременно используется информация, получаемая от нескольких датчиков первичной информации (ДПИ). В качестве основного принципа построения КИНС, обеспечивающей высокую точность и надежность работы информационной системы, следует использовать принцип избыточной информации, получаемой с помощью датчиков, основанных на различных физических принципах. Такой подход к построению КИНС является наиболее перспективным и позволит получить максимальный эффект при минимальном объеме используемого оборудования. Следовательно, создание КИНС, позволяющей учитывать особенности работы измерительных устройств, использующих различные физические принципы, позволит путем комплексной обработки информации обеспечить повышение точности измерения и формирование сигналов.

Таким образом, разработка и внедрение предлагаемой КИНС позволит по-новому решать задачу индикации различных параметров на основе перехода от отдельных автономных индикаторов к комплексным многофункциональным индикационным приборам. Комплексная система сигнализации и индикации параметров должна будет, освобождая экипаж от выполнения вычислительных и логических операций, представить всю необходимую экипажу информацию в обработанной, удобной для восприятия наглядной форме, с требуемой точностью и надежностью.

Литература

1. **Кочуров А.И.** Основы воздушной навигации: учебное пособие в 2-х частях. — Ч. 2. — Ульяновск: УВАУ ГА, 2006, 57 с.

*П.А. Беляев, студ.; П.С. Яцко, курсант;
рук. К.А. Селютин, начальник цикла военного учебного центра
при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук. В.И. Рубинов, к.т.н., доц. (ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для совершенствования программного обеспечения модуля экспресс-анализа полётной информации с целью повышения достоверности и глубины контроля технического состояния бортового оборудования современного воздушного судна (ВС) предлагается использовать специальное средство САПР, которое предназначено для создания и корректировки баз данных расчетных параметров, используемых при проведении анализа полетной информации, а также для разработки алгоритмов решения задач анализа информационных потоков [1]. Для работы с модулем САПР желательны знания конструкции и особенностей того типа летательного аппарата, для которого разрабатываются БД РП.

Для разработки алгоритма экспресс-анализа режима «Стабилизация высоты» системы автоматического управления (САУ) полетом ВС может успешно применяться метод логических функций, который в настоящее время широко используется. Использование разработанного алгоритма позволит получить сообщение, когда произведено включение САУ, при правильных ли условиях оно осуществлено и выполняется ли стабилизация высоты с допустимой погрешностью.

Исследование эффективности разработанного алгоритма проводилось на наземном устройстве обработки полетной информации. Сравнение сбоев с графиками автоматизированной обработки показал высокую эффективность разработанного алгоритма. Все сбои были определены достоверно.

Таким образом, тестирование разработанного алгоритма экспресс-анализа контроля режима «Стабилизация высоты» показало его работоспособность и эффективность. Пропуски событий и ложные срабатывания отсутствуют. Включение разработанного алгоритма в состав специального программного обеспечения системы контроля авиационной техники позволит повысить достоверность контроля технического состояния САУ современного ВС по данным объективного контроля.

Литература

1. Программное обеспечение «СКАТ». Базовое руководство оператора. Часть 1. Базовая комплектация.

*П.А. Беляев, студ.; П.С. Яцко, курсант;
рук. П.А. Крежановский, преподаватель военного учебного
центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»;
рук. В.И. Рубинов, к.т.н., доц. (ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж)*

ТЕНДЕНЦИИ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Тенденции к объединению отдельных контрольно-измерительных устройств в автоматические информационные системы (АИС) обусловлены следующими причинами [1]: широким использованием совокупных и косвенных методов измерения физических величин, которые не могут быть измерены с достаточной точностью прямыми методами; необходимостью применения комплекса датчиков первичной информации (ДПИ), измеряющих одну и ту же физическую величину, но выполненных на различных физических принципах, что позволяет осуществлять взаимную коррекцию с целью повышения точности измерения; обеспечением требуемой надежности работы измерительных устройств в процессе работы; ростом потребителей одноименной информации, характеризующей состояние или параметры работы, что определяет необходимость создания централизованных контрольно-измерительных систем.

Перечисленные причины, обуславливающие принципы комплексирования АИС, и определяют её структуру и задачи обработки исходной информации. Здесь, под АИС будем понимать совокупность автоматических информационных устройств или централизованных систем, основанных на общности физической природы измеряемых параметров, либо совокупность информационных устройств, используемых различные физические принципы измерения, но объединенных общим алгоритмом, определяемым постановкой задачи, решаемым данным комплексом аппаратуры.

Важнейшим отличием АИС от комплекса оборудования, состоящего из отдельных, не связанных между собой приборов и контрольно-измерительных устройств, будет являться то, что для выработки выходных сигналов одновременно должна использоваться информация от нескольких ДПИ, как правило не менее двух, входящих в состав АИС.

Таким образом, характерной особенностью предложенной АИС будет являться наличие нескольких входных и выходных сигналов, что позволит рассматривать данную систему как многоконтурную с наличием перекрестных связей.

Литература

1. **Кубрин С.С., Кучерин В.Н., Иванов И.М.** Автоматическая информационная система: учебное пособие. М: ТРАНСЛИТ, 2018, 96 с.

А.И. Горбков, студ.;
рук. К.Н. Орешников, заместитель начальника военного
учебного центра при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

БЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМАХ SCADA: РИСКИ И МЕРЫ ЗАЩИТЫ

SCADA (от англ. Supervisory Control And Data Acquisition) — программный пакет для разработки систем сбора, обработки и архивирования информации об объектах мониторинга в реальном времени. SCADA используется в различных отраслях, включая энергетику, для обеспечения контроля технологических процессов и может работать как часть АСУ ТП или других автоматизированных систем. Это ПО устанавливается на компьютеры и используется с драйверами ввода-вывода или OPC/DDE серверами. Существует также интегрированное SCADA, добавляющее термин SoftLogic. Термин имеет два значения: как приложение для выполнения функций и как программно-аппаратный комплекс. С течением времени значение SCADA изменялось от комплексного сбора данных к программной части человеко-машинного интерфейса.

Аннотация: SCADA-системы важны для критической инфраструктуры, особенно в энергетике, но с их интеграцией в современные сети увеличиваются риски кибератак. Доклад исследует уязвимости SCADA в энергетическом секторе и предлагает меры защиты. Актуальность проблемы подчеркивается увеличением киберугроз и инцидентов. Новизна исследования заключается в анализе уязвимостей, таких как недостатки в протоколах и слабой аутентификации, а также в разработке рекомендаций для улучшения безопасности систем, применяемых в энергетике. Личный вклад автора включает предложения по устранению проблем, связанных с уязвимостями данных систем. Перспективы использования результатов заключаются в создании стандартов безопасности и повышении устойчивости энергетической инфраструктуры к кибератакам.

Секция 64

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»

В.И. Егоров студ.; рук. А.Н. Минтус, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИКРОГРИД СИСТЕМЫ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ

Основной задачей интеллектуальной электроэнергетической системы является производство электроэнергии, снабжение потребителей и поддержание баланса между её выработкой и потреблением. Последняя задача является особенно актуальной в связи с распространением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и с учетом нестабильности их генерации. В [1] рассматриваются методы анализа баланса мощностей с учётом вероятностных характеристик, их преимущества и недостатки.

В общем случае возобновляемые источники энергии, такие как ветровые энергоустановки, солнечные электростанции и др., работают на общую электрическую сеть, от которой и осуществляется питание потребителей. В нештатных ситуациях питание потребителей может производиться автономно от этих источников ограниченной мощности, которые расположены в районе потребления, а поддержание баланса возможно аккумулярованием энергии или путем ограничений на потребление.

Основными промышленными потребителями электроэнергии являются электропривод и снизить мгновенную потребляемую мощность можно, если уменьшить частоту их вращения и темп её изменений. Кроме того, в системах регулирования положения снижение мгновенного энергопотребления возможно, если процесс позиционирования осуществлять за большее время.

В работе предлагаются методы баланса мощностей в микрогрид-системах, сочетающих в себе ВИЭ и группу различных потребителей, путём уменьшения мгновенной потребляемой мощности электроприводов посредством контролируемого изменения задающих воздействий и параметров их системы регулирования.

Литература

1. Анализ балансовой надежности как актуальная задача развития электроэнергетических систем ЕЭС России / Н.А. Беляев, А.Е. Егоров, Н.В. Коровкин, В.С. Чудный // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2013. — № 2(171). — С. 44–51.

Д.В. Панасенко, студ.;
рук. С.В. Деркачёв, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

СПОСОБ СИНХРОННОЙ ПОДАЧИ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

В настоящее время уровень развития микропроцессорной техники и коммутационных аппаратов позволяет создавать для систем электроснабжения с двигательной нагрузкой устройства быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР) с функцией синхронной подачи резервного питания. Это позволяет ограничивать токи и электромагнитные моменты в режиме самозапуска до уровней, не превышающих величин пусковых значений указанных параметров. В [1] предлагается команду на включение выключателя резервного источника питания подавать с углом опережения, установленным с учётом времени работы выключателя. Недостатком такого подхода является то, что не всегда может быть обеспечена синхронная подача резервного питания. Это связано с зависимостью скорости изменения угла между векторами остаточного напряжения на шинах, к которым подключены двигатели, и резервном источнике от механических постоянных времени и загрузки электродвигателей.

В работе предложен способ синхронной подачи резервного питания, основанный на контроле мгновенных значений напряжений на шинах электродвигателей и резервном источнике, определении величины угла рассогласования между ними и фиксации моментов времени достижения углом рассогласования трех заданных значений. По полученным параметрам выполняется параболическая аппроксимация временной зависимости угла, на основании которой осуществляется прогнозирование момента совпадения по фазе контролируемых напряжений. С учетом времени срабатывания выключателя резервного источника определяется момент времени для подачи команды на его включение.

Эффективность разработанного способа синхронной подачи резервного питания подтверждена путем проведения лабораторных испытаний на экспериментальном стенде. Это позволяет рекомендовать его для использования в микропроцессорных устройствах БАВР.

Литература

1. **Киреева Э.** Современные устройства быстродействующего АВР / Э. Киреева, В. Пупин, Д. Гумиров // Главный энергетик. — 2005. — № 11. — С. 23–25.

*М.К. Маренич, аспирант;
рук. И.Б. Гуляева, к.т.н., доцент (ДонНТУ, Донецк)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН УЧАСТКА ШАХТЫ ПРИ ОТСУТСТВИИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Концепция построения системы электроснабжения участка шахты предусматривает обязательность заземления металлических корпусов нестационарного электрооборудования путём их электрического присоединения к заземлённым корпусам пускателей посредством центральных проводников (ЦП) экранированных кабелей электропитания. Однако, в этом случае участковая электросеть становится потенциально опасной по фактору электропоражения, поскольку ёмкости, образуемые между фазными проводниками кабелей и заземлёнными ЦП, создают значительные по величине ёмкостные проводимости между фазами и землёй. Кроме этого, применяемый способ заземления корпусов нестационарного электрооборудования противоречит требованиям действующих нормативных документов, согласно которым «не допускается использовать корпуса электрооборудования в качестве заземляющих проводников» [1].

В свете этого актуально принципиальное изменение подхода к обеспечению электробезопасности эксплуатации рудничного электрооборудования. В соответствии с предлагаемой альтернативной концепцией исключается использование ЦП кабелей в качестве заземляющих жил. Будучи отделённым от заземления, ЦП кабеля в этом случае выступает как проводник информационного сигнала от электродвигателя нестационарной установки к пускателю с целью управления защитным отключением последнего. Сигнал формируется встроенным в двигатель устройством выявления контакта фазы с его корпусом. Работа этого устройства основана на реакции схемы на наличие (величину) тока в измерительной цепи между соединением «У» фазных обмоток статора двигателя и его корпусом [2]. Экспериментально подтверждена работоспособность данного технического решения.

Литература

1. **ГОСТ 28298-89.** Заземление шахтного электрооборудования. Технические требования и методы контроля: — М.: Стандартинформ, 2005. — 7 с.
2. **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.Д. Мых, асп.;
рук. И.А. Бершадский, д.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ В ЭЛЕКТРОСЕТИ 220 В НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-АЛГОРИТМА

По данным 2022 года доля числа пожаров, произошедших в РФ от электрических изделий и устройств составляет более 34% [1]. Около 90% этого объема приходится на жилой сектор, где распространенной причиной пожаров являются дуговые пробои, которые возникают из-за старения кабелей и ослабленных контактных соединений.

Известные устройства защиты от образования дугового пробоя (ДП) представляют собой микропроцессорный модульный релейный аппарат, предназначенный для электрической цепи напряжением до 0,4 кВ. Они во многих случаях своевременно не обесточивают линию электропитания [2]. Также остались нерешенными полностью проблемы, вызванные ложными срабатываниями при использовании диммеров, коллекторных двигателей и др., создающих аналогичные аварийному искрению ВЧ помехи в спектре тока нагрузки.

В результате исследований разработан новый метод идентификации последовательных ДП в электрической сети жилых зданий на основе дискретной обработки экспериментально полученных кривых тока ДП с помощью вейвлет-преобразований (*DWT*) семейства Daubechies *db 4*.

Верификация метода обнаружения последовательного ДП выполнены на примере двух нагрузок бытовой электросети, перечисленных в ГОСТ ИЕС 62606-2016: обогреватель (2,2 кВт) и пылесос с симисторным регулятором мощности (1,25 кВт). Установлено, что кривые тока ДП имеют уникальные особенности, а именно уровни нормализованных в относительных единицах коэффициентов детализации *cd DWT* во временной области на частоте дискретизации 10 кГц показывают значения: 1 разложение — от 0,2 до 0,5 и выше, 2 разложение — от 0,05 до 0,2 и выше. Те же уровни при нормальной работе относительно малы: $< 0,1$ и $< 0,04$. Это позволит характеризовать интенсивность искрения матрицей *SAF*, строки которой соответствуют уровню *i* нормализованного *cd1*, а столбцы — номеру *j* полупериода тока 1...10. В *SAF* представлены $K_{i,j}$ — число пересечений компонент *cd1* уровней с номером *i* в течение полупериода промышленной частоты *j*.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 г. Статистика пожаров и их последствий // ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, Московская обл., 2023. 81 с.
2. Мельников В.С. Пожарная безопасность электроустановок, алгоритм зажигания Международный научно-иссл. журнал. — Выпуск: № 1 (127), 2023 URL: <https://research-journal.org/media/articles/3550.pdf> (дата обращения 07.10.2024).

А.Е. Блезниченко, студ.;
рук. А.А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ПРОВОДОВ С КОМПОЗИТНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Развитие электроэнергетической системы региона обуславливает проектирование и сооружение новых, а так же реконструкцию существующих воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). При этом могут быть использованы как традиционные марки проводов (например, АС), так и современные провода различных типов и конструкции. Провод с сердечником из композитного материала (марки АССС) обладает рядом преимуществ: меньший вес, повышенная прочность, небольшой коэффициент температурного расширения сердечника. К минусам следует отнести высокую стоимость провода марки АССС по сравнению с проводом АС.

Одним из основных этапов при подготовке проекта высоковольтной ВЛЭП является выполнение систематического механического расчета, который для проводов производится по методу допускаемых напряжений [1]. Исходными данными являются технические характеристики провода и климатические условия. В настоящей работе исследования выполняются для климатических показателей Донбасса.

Напряжение в проводе находят из уравнения состояния провода [2]:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 l^2}{24\sigma^2 \beta} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 l^2}{24\sigma_0^2 \beta} - \frac{\alpha}{\beta} (t - t_0)$$

где l — длина пролета; σ_0, γ_0, t_0 — соответственно напряжение в проводе, удельная нагрузка и температура в исходном режиме; σ, γ, t — соответствующие значения для искомого режима провода, α — температурный коэффициент линейного удлинения, β — коэффициент упругого удлинения.

Выполненный анализ результатов механического расчета для провода с композитным сердечником и провода марки АС на основании сравнения расчетных напряжений и стрел провеса показал принципиальную возможность увеличения длины пролета и соответствующее уменьшение количество устанавливаемых опор.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы: по состоянию на 2023 год. — 6-е и 7-е издания. — Москва: Эксмо, 2023. — 512 с.
2. **Крюков К.П., Новгородцев Б.П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 2-е изд. 392 с.

А.А. Олейник, студ. ;
рук. А.А. Булгаков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 35 КВ С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Расчет установившегося режима для электрической сети позволяет оценить загрузку линий электропередачи (ЛЭП) и силовых трансформаторов, потери мощности и обеспечение желаемого уровня напряжения. Мощные нелинейные нагрузки могут обуславливать значительные уровни гармоник напряжения в электрической сети. В этом случае для оценки соблюдения норм действующего стандарта на качество электрической энергии [1] по несинусоидальности напряжения требуется моделирование установившегося режима работы электрической сети с нелинейными нагрузками.

В работе используется модель электрической нагрузки в виде постоянных токов. Нелинейные нагрузки задаются отдельными токами гармонических составляющих в процентах от составляющей основной частоты. В данном исследовании модель нагрузки содержит только нечетные гармоники тока. Расчет проводится для каждой гармонической составляющей отдельно.

Действующий стандарт [1] нормирует величины гармонических составляющих напряжения до 40-й гармоники ($n = 1, 2 \dots 40$). Показателями качества по несинусоидальности напряжения являются:

- суммарный коэффициент гармонических составляющих K_U ,
- коэффициенты отдельных гармонических составляющих K_{Un} .

Поскольку, напряжение является локальным параметром электрической сети, то анализ выполняется для каждого узла сети отдельно.

Зарядными мощностями ЛЭП при моделировании режимов пренебрегаем. Сопротивления ЛЭП рассчитываются для каждой n -й гармоники по известным заданным удельным значениям r_0 и x_0 для основной частоты и длины l по соотношениям:

$$r_{ЛЭПn} = n \cdot r_0 \cdot l, \quad x_{ЛЭПn} = n \cdot x_0 \cdot l.$$

Результатами моделирования являются расчетные значения K_U и K_{Un} , которые анализируются на соответствие нормам стандарта [1].

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электропитания общего назначения. Введ. с 01.07.2014.

Б.А. Калиниченко, студ.;
рук. Д.В. Бажутин, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

В настоящее время при разработке и отладке алгоритмов управления электромеханическими объектами широко применяются виртуальные имитационные модели, не требующие вывода уравнений движения в явном виде. Наиболее простым способом разработки подобных моделей является использование URDF-файлов, содержащих информацию о физических свойствах устройства и его визуальном представлении. Эти файлы могут создаваться в современных САПР, например, SolidWorks, и могут быть импортированы в среды физического моделирования Matlab Simulink и ROS Gazebo.

В среде Matlab Simulink путем импорта URDF-файла была получена функциональная модель электромеханического устройства в блоках библиотеки Simscape Multibody, позволяющая получить точную информацию о движении всех его звеньев. Эта модель была использована для разработки системы управления движением с помощью библиотеки Robotics Systems Toolbox, используя инструменты автоматического расчета кинематики, одометрии и планирования траектории. Исследованные алгоритмы управления движением при точной настройке позволяют добиться необходимых показателей качества обработки траектории движения.

Аналогичная модель была разработана путем импорта URDF-файла в среду физического моделирования Gazebo. Поскольку данная среда является составной частью операционной системы ROS, для разработки системы управления движением используются специализированные библиотеки, находящиеся в открытом доступе. В результате проведенных исследований была разработана система автоматического управления, которая впоследствии может быть перенесена на управляющее устройство без каких-либо изменений, что является неоспоримым преимуществом такого подхода.

Литература

1. **MATLAB Robotics System Toolbox User Guide** [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/robotics.html>.

К.Б. Петренко, студ.;
рук. Д.В. Бажутин, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В настоящие дни в промышленности и робототехнике возросла роль искусственного интеллекта, системы компьютерного зрения получают широкое распространение для задач навигации и обнаружения или отслеживания объектов. При этом задачи управления движением можно разделить на два уровня: быстродействующее управление электроприводами и интеллектуальную систему навигации и планирования маршрута.

С учетом высоких требований к вычислительной мощности микроконтроллера со стороны интеллектуальных систем целесообразным представляется использование отдельных быстродействующих микроконтроллеров для низкоуровневого управления движением, например, а задачи высокого уровня реализовать на одноплатных компьютерах, например Raspberry Pi. При выборе аппаратной платформы для системы управления верхнего уровня необходимо ориентироваться на быстродействие его GPU, поскольку работа компьютерного зрения в значительной степени зависит от быстродействия данного модуля.

Одним из наиболее важных вопросов для быстродействия системы является выбор архитектуры сети. Из наиболее распространенных программных решений выделяются модели архитектуры YOLO [1]. Такие нейроструктуры однократно принимают данные и обрабатывают их для каждого класса обнаружения. Данный подход является оптимальным для задач обнаружения объектов с применением автономных одноплатных вычислительных платформ, поскольку показала удовлетворительную скорость обработки изображений с учетом необходимости отправки управляющих команда на низкоуровневую систему управления.

Таким образом, в современных автономных системах разделение задач управления движением на два уровня с их реализацией на различных аппаратных платформах является целесообразным решением.

Литература

1. **Горский Г.Е.** Научно-издательский центр «Аспект» // Анализ нейросетевых архитектур для распознавания объектов на видео // «Научный аспект № 6-2024».

*Е.П. Озолин, студ.;
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОДСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

Анализ целесообразности и возможностей сооружения подстанций (ПС) подземной компоновки в Донбассе требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и стратегические аспекты. Защита критической инфраструктуры требует внедрения инновационных решений в проектировании и строительстве.

Строительство и использование подземных ПС дает ряд преимуществ.

1. Требуют меньшую площадь, что особенно ценно в условиях плотной городской застройки, а также не портят внешний вид территории населенных пунктов.
2. Лучше защищены от внешних воздействий, таких как неблагоприятные погодные условия и вандализм. Подземные конструкции могут обеспечить дополнительные преимущества в условиях постоянной угрозы со стороны БПЛА, которые становятся все более распространенными в современных конфликтах.
3. Обеспечивается более стабильная работа электрической сети и снижается вероятность возникновения аварийных ситуаций.
4. Снижаются суммарные потери электрической энергии, а именно потери на токи утечки через загрязненные изоляторы и потери из-за высоких температур [1].

Однако, к проектированию подземных ПС предъявляются специфические требования [2], а их обслуживание, в отличие от традиционных, сложнее и требует специальных инструментов и навыков.

В условиях Донбасса при проектировании и строительстве подземных ПС необходимо учитывать уникальные геологические и технические факторы, связанные, в том числе, с расположением подземных выработок.

Таким образом, создание подземных ПС в Донбассе не только целесообразно, но и представляет собой стратегически важный шаг в укреплении энергетической безопасности региона.

Литература

1. **Полунин, А.А.** Целесообразность и опыт применения подземных подстанций / А.А. Полунин // Наука молодых — будущее России: сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: Том 6. — Курск: ЗАО «Университетская книга». — 2018. — С. 230–233.
2. **Акчурина, С.** Целесообразность сооружения в городах подземных подстанций / С. Акчурина, Г. Шведов // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2013. — № 6 (21). — С. 176–179.

*В.В. Цеплинский, студ.;
рук. В.Г. Черников, доц. (ДонНТУ, Донецк)*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОКОЛЕСА

Важной научно-практической задачей является совершенствование систем управления ветрогенераторными установками с целью повышения их КПД и улучшения качества получаемой от них энергии в условиях нестабильности энергетического потока. Однако, зачастую для проведения экспериментов, направленных на совершенствование систем управления, требуется дорогостоящее оборудование. Поэтому, для сокращения затрат, необходимых для воспроизведения режимов работы ветроэнергетической установки целесообразно применение имитационной модели ветроколеса, состоящей из преобразователя частоты, способного работать в режиме регулирования момента приводного двигателя, и имитационного контроллера, формирующего задание на момент на основе данных, предоставляемых моделью ветра и моделью ветроколеса (рис. 1). В качестве модели ветра можно использовать спектральную модель Ван дер Ховена, для работы модели ветроколеса можно использовать некоторую функцию, или нейромодель [1], входными параметрами которой являются скорость ветра, скорость вращения генератора и pitch-угол лопасти. Такой подход позволяет проводить эксперименты для совершенствования системы управления преобразователем ВЭУ в лабораторных условиях.

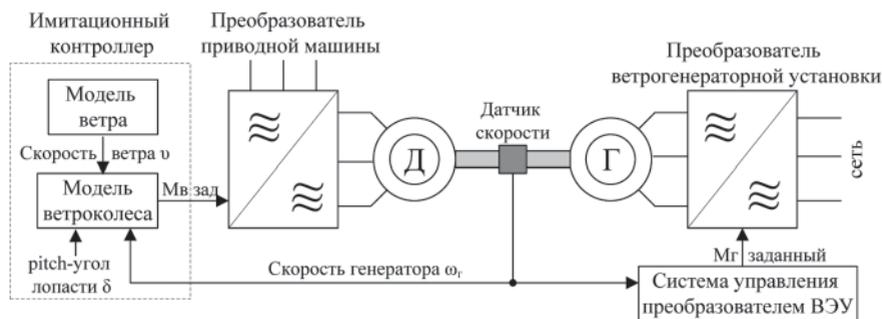


Рис. 1. Имитационная модель ветроколеса в составе модели ВЭУ

Литература

1. Черников, В.Г. Разработка методики определения параметров адаптивного дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса / Черников В.Г. // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». — Донецк, 2022. — № 1(24). — С. 13–28.

О.Е. Жук, студ.; рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ТРЕХКОЛЕСНОГО РОБОТА ВСЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ



Рис. 1. Конструкция омни-колеса для трехколесного робота

В настоящее время стоит вопрос о создании колесных транспортных средств, которые должны иметь повышенную проходимость и мобильность. Этим требованиям удовлетворяют роботы всенаправленного движения. В них применяются омни-колеса (рис. 1), которые позволяют двигаться по прямой линии из одной точки плоскости в другую, не выполняя развороты. Их особенность заключается в том, что они состоят из основного колеса с расположенными по окружности небольшими роликами под углом 90 градусов к оси вращения. Эти ролики могут свободно вращаться при низком крутящем моменте и минимальной силе трения, что и позволяет осуществлять движение в разных направлениях.

Целью данной работы является разработка прототипа трехколесного робота всенаправленного вращения для последующего применения в обучении робототехнике.

В качестве основы робота была выбрана готовая конструкция механизма [1], в состав которой входят три двигателя постоянного тока с редуктором и двухканальным энкодером модели JGB37-520 с напряжением — 12 В и скоростью — 333 об/мин. Данная конструкция дополнена микроконтроллером STM32F401, холдером с двумя аккумуляторами 18650, стабилизатором напряжения, двумя драйверами МХ1508 и модулем связи Bluetooth HC-05.

Была разработана и собрана электрическая схема трехколесного омни-робота, а также создана его математическая модель. Таким образом созданы предпосылки для изучения алгоритмов управления мобильным роботом, а также их отработки на реальном оборудовании.

Литература

1. Шасси мобильного робота / Режим доступа: https://aliexpress.ru/item/1005004667696237.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fweb.telegram.org%2F&spm=a2g2w.orderdetail.0.0.48394aa6YnF1si&sku_id=12000030039749359.

Л.С. Дегтярев, студ.;
рук. С.В. Шлепнёв, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОРАЙОНА ГОРОДА ДОНЕЦКА

Повышение эффективности электроснабжения городов и предприятий является одной из ключевых задач в области электроэнергетики. Интерес к этой проблеме обусловлен необходимостью экономии электроэнергии, минимизации её потерь и сокращения числа аварий. Все перечисленные факторы имеют критическое значение в современных условиях развития экономики Донбасса. От правильных и быстрых решений этих вопросов во многом зависит надежность электроснабжения потребителей в различных сферах человеческой деятельности [1].

В данной работе проведено исследование целесообразности замены силовых трансформаторов 10/0,4 кВ на ТП с помощью методики расчета технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде [2]. В результате было установлено, что замена трансформаторов типа ТМ на ТМГ12 целесообразна. Из-за износа оборудования в процессе длительной эксплуатации, многочисленных ремонтов после обстрелов, серьезно возросли потери электроэнергии и снижена надежность этих устройств.

Внедрение энергоэффективных масляных трансформаторов ТМГ12 [3] обеспечит не только быструю окупаемость затрат на их установку, но и позволит в будущем сократить общие затраты на передачу и распределение электрической энергии. Это будет достигнуто благодаря снижению расходов на обслуживание и ремонт трансформаторов, а также уменьшению потерь, возникающих в процессе их работы.

Литература

1. **Мясоедов, Ю.В., Мясоедов, Л.А., Подгурская, И.Г.** Электроснабжение городов: учебное пособие. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. — 106 с.
2. Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям: приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 декабря 2008 года N 326.
3. ОАО «Электроштит». Каталог. ТМГ12 [Электронный ресурс] URL: <https://elektrosh.tn-rt.ru/price/catalog/154385>.

А.В. Бессонов, маг.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АД В СЕТИ С ПРОДОЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

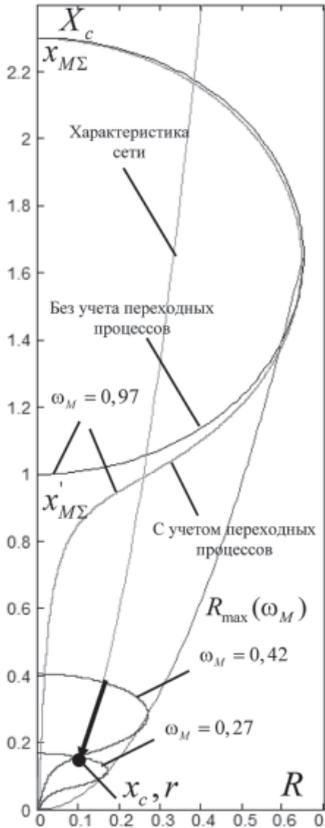


Рис. 1. Зоны самовозбуждения

на рис. 1 показаны зоны СВ АД с одной обмоткой на роторе, вращающегося со скоростью $\omega_M = 0,97$. Из рис. 1 следует, что при параметрах сети ($x_c = 0,3$; $r = 0,1$) СВ вращающегося АД не происходит. Оно может возникнуть при пуске в диапазоне изменения скорости вращения от $\omega_M = 0,27$ до $\omega_M = 0,42$.

Использование ЧХ позволяет определять зоны самовозбуждения при наличии на роторе АД произвольного число контуров.

Осуществление емкостной компенсации на линиях электропередачи, а так же применение конденсаторных устройств для пуска асинхронных электродвигателей (АД) может привести к самовозбуждению (СВ) АД. Поэтому емкость конденсаторов должна выбираться так, чтобы СВ и происходило.

Целью работы является разработка программы и исследование условий возможного возникновения СВ АД, вращающихся с номинальной скоростью и при их пуске.

В основу алгоритма программы положены соотношения [1], позволяющие определять зоны СВ АД как без учета, так и с учетом переходных процессов в роторе.

В первом случае для заданной скорости вращения ротора ω_M границе зоны СВ соответствует соотношение вида

$$\left[\frac{x_c}{(\omega_M - \omega)^2} - \frac{x_{M\Sigma} - x'_{M\Sigma}}{2} \right]^2 + \left(\frac{R}{\omega_M - \omega} \right)^2 = \left(\frac{x_{M\Sigma} - x'_{M\Sigma}}{2} \right)^2 \quad (1)$$

Во втором — используются частотные характеристики (ЧХ) $R_M(\omega)$ и $x_{M\Sigma}(\omega)$ АД:

$$\begin{aligned} R &= (\omega_M - \omega) \cdot R_M(\omega); \\ X_c &= (\omega_M - \omega)^2 \cdot x_{M\Sigma}(\omega). \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 1 показаны зоны СВ АД с одной обмоткой на роторе, вращающегося со скоростью

$\omega_M = 0,97$. Из рис. 1 следует, что при параметрах

сети ($x_c = 0,3$; $r = 0,1$) СВ вращающегося АД не происходит. Оно может возникнуть при пуске в диапазоне изменения скорости вращения от $\omega_M = 0,27$ до $\omega_M = 0,42$.

Использование ЧХ позволяет определять зоны самовозбуждения при наличии на роторе АД произвольного число контуров.

Литература

1. **Веников, В.А.** Самовозбуждение и самораскачивание в электрических системах / В.А. Веников, Н.Д. Анисимова и др. — М.: Высшая школа, 1964. — 199 с.

Е.С. Кабанов, студ.;
рук. И.И. Ларина, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЗАКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Одним из индикатором экономической эффективности функционирования электрических сетей является величина потерь электроэнергии в ее элементах. Под оптимальными потерями электроэнергии в сети с данными параметрами и нагрузкой понимают такое их значение, при котором не существует экономически оправданных средств их последующего снижения при принятом критерии оптимальности. Величина потерь электроэнергии в 4–5% от передаваемой величины считается удовлетворительной, в 10% — максимально допустимой с точки зрения физики передачи электроэнергии.

Одной из основных причин, дополнительных потерь электроэнергии является неоднородность сетей [1]. Вследствие этого распределение мощности отличается от экономического с минимальными потерями. Таким образом, разработка рекомендаций по снижению потерь мощности на основе анализа технических средств является актуальной.

В качестве объекта исследования рассматривался участок сети с двухсторонним питанием напряжением 110 кВ с пятью ПС. Сеть выполнена проводами разного сечения: неоднородность изменяется в пределах от 1,71 до 4,28. При суммарной нагрузке в часы максимума в энергосистеме, равной 116,3 МВт, потери электроэнергии составили 1,5%, что не превышает оптимальной величины. На ЛЭП приходится 39,3% потерь.

В работе рассматривались следующие мероприятия для снижения потерь мощности в ЛЭП.

1. Размыкание сети в точке экономического раздела мощности с установкой дополнительного выключателя и комплекта АВР позволяет снизить потери в ЛЭП на 3% при сроке окупаемости инвестиций 4 месяца.
2. Замена проводов приводит к снижению потерь на 6,2% при сроке окупаемости 13,5 лет.
3. Установка УПК. Снижение потерь мощности составляет 3,4%, срок окупаемости 7 лет;
4. Установка ВДТ. В этом случае потери мощности уменьшаются на 2,8%, а срок окупаемости составляет 8,8 года.

Литература

1. Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / Войтов О.Н., Воронпай Н.И., Гамм А.З. и др. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. — 256 с.

И.П. Васьковский, студ.;
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ И ТОЧНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В качестве электропривода наиболее широко применяются короткозамкнутые асинхронные электродвигатели (АД), Однако их высокая повреждаемость затрудняет достижение оптимальной эффективности. По статистике ежегодно выходит из строя 20–25% установленных АД [1].

Оценка технического состояния АД является важной задачей, способствующей повышению надёжности их работы, снижению аварийности, затрат и потерь рабочего времени из-за внеплановых ремонтов.

Важным требованием к диагностике АД является обеспечение достоверности и точности выявления их неисправностей и повреждений.

Целью исследований является анализ возможных подходов к совершенствованию диагностирования короткозамкнутых АД.

Отклонения напряжения и частоты в питающей сети от номинальных регламентируемых ГОСТ значений, несимметрия и несинусоидальность напряжения приводят к уменьшению вращающего момента электродвигателя, увеличению потребляемого тока, времени разгона, росту потерь, вибрации у вращающихся механизмов, ускоренному старению изоляции.

Указанные факторы влияют так же и на параметры, являющиеся критериями диагностирования. Исследования показали, что, например, возникновение тока обратной последовательности, на контроле которого основаны ряд методов диагностирования [1, 2], может быть вызвано как наличием определенного дефекта, так и несимметрией питающего напряжения.

Следовательно, повышение достоверности диагностирования АД требует предварительного проведения исследований по оценке влияния отклонений показателей качества электроэнергии в питающей сети от номинальных на параметры диагностики и разработки методов их учета при выявлении соответствующих дефектов.

Литература

1. **Полковниченко, Д.В.** Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей / Д.В. Полковниченко // *Электротехника и электромеханика*. — 2005. — № 1. — С. 59–62.
2. **Сивокобыленко, В.Ф.** Диагностика асинхронного электропривода по данным измерений рабочего режима / В.Ф. Сивокобыленко, Д.В. Полковниченко, К.А. Кукуй // *Вестник НТУ «ХПИ»*. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2003. — № 10. — Т. 1. — С. 502–505.

В.Ю. Лисовский студ.;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время растет внимание к проблеме энергосбережения и повышения энергоэффективности. Анализ международного опыта показывает, что рост потерь электроэнергии (ΔW) в электрических сетях является объективным процессом для стран с реформируемой энергетикой, признаком имеющихся разрывов между платежеспособностью потребителей и тарифами на электроэнергию. Также к росту ΔW можно отнести недостаточность инвестиций в сетевую инфраструктуру и систему учета электроэнергии АСКУЭ и др. факторы. Как известно, по структуре электрические сети в регионе Донбасса подразделяются на два электросетевых комплекса: магистральные и распределительные. Магистральные включают в себя основные системообразующие сети и межсистемные линии электропередачи 220 кВ и выше. Сети напряжением 110 кВ и ниже включаются в распределительные. Около 78% всех потерь в сетях региона приходится на распределительные сети и, примерно, 22% на магистральные.

Целью работы является оценка известных методов расчета потерь электроэнергии применительно к сетям различных классов напряжения.

В качестве объекта исследования была выбрана сеть с тремя классами напряжения при наличии замкнутого и разомкнутого участков. Нагрузки потребителей представлены различными суточными графиками. Для расчетов ΔW в сети было применено программное обеспечение PowerFactory. Анализировались следующие методики расчета годовых потерь: использование средних нагрузок ($P_{\text{ср}}$, $T_{\text{м}}$); суточные зимние и летние нагрузки; метод характерных режимов (зима, весна, лето и зима) [1]. Итогом исследования стал сопоставительный анализ расчетов, выполненный по различным методикам. Полученные данные свидетельствуют о рациональности использования ряда допущений для определенного типа потребителей в сетях более низкого напряжения, где график нагрузки имеет более равномерный характер. Это позволит улучшить использование методов расчета ΔW на этапах проектирования и эксплуатации электрических сетей.

Литература

1. **Лыкин А.В.** Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: учеб. пособие / А.В. Лыкин — Новосибирск: Изд-во НПУ, 2013. — 115 с.

М.Ю. Деревянченко, студ.;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ РЕЖИМОВ

Одной из самых серьезных аварийных ситуаций в электрической системе является нарушение динамической устойчивости синхронных генераторов (СГ), приводящее к возникновению асинхронного режима (АР). Этот режим может вызвать каскадную реакцию аварий и привести к механическим повреждениям как СГ, так и турбин. Поэтому крайне важно как можно быстрее устранить АР. Эффективность управления локальными энергетическими объектами на основе имитационного моделирования в условиях аварии во многом зависит от точности математических моделей отдельных компонентов, особенно СГ. Поведение СГ определяет характер электромеханических переходных воздействий в энергосистеме. При моделировании СГ возникает необходимость в использовании иерархически упорядоченного ряда моделей различного уровня по сложности и точности с учетом изменения частоты в узле примыкания машины к системе. Целью данной работы является анализ различных по сложности моделей СГ для моделирования динамических режимов.

Для ее решения необходимо выполнить анализ математических моделей генератора. В работе анализируется влияние электромагнитных параметров на протекание переходных процессов в СГ. Для этого выполнен сравнительный анализ различных моделей на примере расчета АР генераторов мощностью 200–300 МВт. Исследовались отличающиеся по сложности математические модели синхронных машин: основанные на уравнениях Парка-Горева при различном числе контуров, отражающих влияние массив ротора [1]; модель, построенная на основе уравнения движения ротора дополненного соотношением для расчета асинхронного момента. В результате проведенных исследований установлено, что минимальная по сложности модель генератора для анализа электромеханических переходных процессов должна содержать не менее двух демпферных контуров по поперечной оси и одного (кроме ОВГ) — по продольной оси. Это соответствует принятому на сегодня международному стандарту IEEE Std 1110-2019.

Литература

1. **Заболотный И.П.** Анализ методов формирования модели генератора в компьютерных программах имитационного моделирования режимов электрических систем / И.П. Заболотный, С.А. Гришанов // Научные труды ДонНТУ. Серия: электротехника и энергетика. Вып. 11 (186). Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 150–153.

И.О. Журов, асп.;
рук. П.И. Розкаряка, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ ПРИ ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ

В электромеханических системах с целью достижения их высокой энергетической эффективности могут быть использованы различные способы оптимизации работы электрических машин по заданным критериям. При векторном управлении асинхронной машиной (АМ) задача оптимизации ее работы может быть решена как аналитически, так и численно.

При аналитическом способе оптимизируемая величина выражается в виде функции, зависящей от составляющих тока статора I_d , I_q . Однако такой способ оказывается непригодным для практического применения ввиду наличия нелинейной зависимости взаимной индуктивности от магнитного потока $L_m(\psi)$, которая для каждой машины индивидуальна.

Поиск оптимума также может быть выполнен численно по методике [1], согласно которой для реализации заданного момента выполняется поиск такого соотношения составляющих тока статора I_d , I_q , при котором достигается экстремум целевой функции.

В рамках данной работы предлагается несколько иной подход с использованием экспериментального стенда на базе электропривода с исследуемой АМ и вспомогательного привода для поддержания заданной частоты вращения, а также с применением дополнительных аппаратных средств в виде измерителя электрической мощности и измерителя момента и механической мощности.

Согласно предлагаемому подходу, в заданном диапазоне варьирования скорости, момента и магнитного потока, выполняются измерение и обработка сигналов тока статора, механической и электрической мощностей, а также момента на валу. После этого выполняется анализ полученных данных и находится экстремум оптимизируемой величины.

Главным достоинством такого способа оптимизации является повышенная точность определения максимума КПД в заданном диапазоне изменения магнитного потока. В отличие от способа по методике [1], такой способ обеспечивает нечувствительность к изменению параметров обмоток, за счет чего исключается ошибка расчета механической и электрической мощностей, которые измеряются непосредственно.

Литература

1. **Журов, И.О.** Синтез оптимального управления тяговым электроприводом на базе асинхронного двигателя с учетом магнитного насыщения и потерь в стали / И.О. Журов, С.В. Байда, С.Н. Флоренцев, П.И. Розкаряка // *Электричество*. — 2023. — № 3. — С. 71–79.

Т.А. Акимова, маг.; рук. А.М. Ларин, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

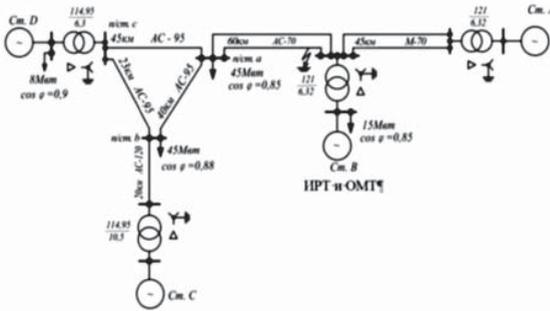


Рис. 1. Схема исследуемой ЭЭС

Одним из управляющих воздействий противоаварийной автоматики (ПАА), направленных на предотвращение нарушения динамической устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС), является регулирование мощности турбин на тепловых электростанциях (ТЭС).

В работе разработано программное обеспечение (ПО), которое позволяет осуществлять имитационное моделирование ЭЭС, включающих до шести эквивалентных турбогенераторов. В основу алгоритма расчета электромеханических переходных процессов положен метод последовательных интервалов для определения изменений взаимных угловых положений роторов генераторных станций.

Созданный комплекс программ позволяет: определять предельные значения угла и времени отключения КЗ различных видов; выполнять анализ электромеханических переходных процессов с учетом действия импульсной разгрузки (ИРТ) в сочетании с ограничением мощности (ОМТ).

Анализ эффективности ПО выполнялся для ЭЭС, показанной на рис. 1.

Учет действия ИРТ для станции **В** осуществлялся на основе аналитического описания импульсных характеристик [1].

Определение собственных и взаимных проводимостей сложной системы, необходимых для расчета активных мощностей, вырабатываемых каждым генератором, выполнялся путем предварительного вычисления токов во всех ветвях схемы замещения методом узловых потенциалов.

Литература

1. Ларин, А.М. Аналитическое описание характеристик паровых турбин при моделировании переходных процессов с учетом импульсной разгрузки / А.М. Ларин, А.А. Булгаков // Материалы X-й международной научно-практической конференции. Инновационные перспективы Донбасса. Т. 2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. — Донецк: ДонНТУ. — 2024. — С. 108–114.

С.В. Ковальская, асп.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Использование при исследовании переходных процессов в синхронных машинах многоконтурных схем замещения, предполагающих равенство взаимоиндукции между всеми контурами, не исключает существенных погрешностей при определении тока в обмотке возбуждения. В настоящее время известна методика, регламентированная стандартом IEEE Std 1110™-2019 [1], для определения параметров трехконтурных детализированных схем, с различной индуктивной связью между контурами (рис. 1). Она основана на связи параметров схемы с постоянными времени

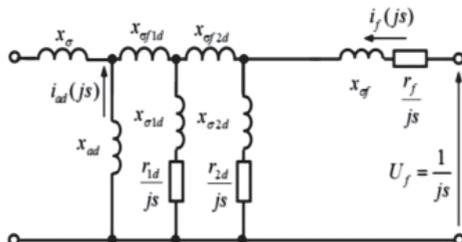


Рис. 1. Детализированная схема замещения СМ по продольной оси

$\tau_d^{(1)}, \tau_d^{(2)}, \tau_d^{(3)}$ и $\tau_{d0}^{(4)}, \tau_{d0}^{(5)}, \tau_{d0}^{(6)}$,

аппроксимирующими экспериментальные частотные характеристиках (ЧХ) проводимостей со стороны обмотки статора $y_d(js)$ и $\tau_{d0}^{(7)}, \tau_{d0}^{(8)}$ — ротора $G(js)$.

В ДонНТУ для большого числа турбогенераторов различного типа получены указанные ЧХ методами, регламентируемыми стандартом ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012 [2]. В настоящей работе в соответствии с соотношениями [1] произведен синтез и выполнен анализ влияния погрешностей определения ЧХ $G(js)$ на точность вычисления параметров детализированных эквивалентных схем замещения.

Показано, что погрешности определения ЧХ $G(js)$ приводят к неоднозначности синтеза рассматриваемых схем замещения.

Литература

1. Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Std. 1110-2019: Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Parameter Verification with Applications in Power System Stability Analyses. USA: IEEE, 2019.
2. ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012 Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин. Введ. 2012-23-11. — М.: Стандартинформ, 2014. — 83 с.

Б.Ю. Яковлев, студ.;
рук. В.И. Калашников, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ PEM-ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА

Использование PEM-электролизера является перспективным направлением развития энергетики и позволяет создавать эффективные и экологически чистые инновационные установки получения водорода высокой чистоты [1]. В работе приведен анализ взаимозависимостей между параметрами электролизёра (ЭЗ) такими как рабочие температура, давление, плотность тока и толщина мембраны с целью определения оптимальных режимов его работы. Для этого изложены основные соотношения, необходимые для понимания работы электролизера. Рассматриваются основы электрической ячейки PEM-электролизёра, включающие структуру и функционирование одной ячейки, термодинамические соотношения для расчёта идеального напряжения ячейки и механизмы потерь для определения реального напряжения ячейки. Рабочий диапазон напряжения ограничен техническими характеристиками и обычно составляет 2–2,2 В. Для снижения потерь на нагрев при плотности тока менее 1 А/см² и при температуре 80⁰С, оптимальный уровень давления в электролизере составляет от 6 до 10 бар. Для исследования структуры и режимов ЭЗ в данной работе была усовершенствована математическая модель PEM-электролизёра, реализованная в пакете MATLAB® Simulink [2]. В результате выполненного анализа установлено, что осушка водорода снижает содержание водяного пара для последующих этапов, в дальнейшем водород механически нагнетается до давления хранения. Удельная работа электролизера составляет от 160 до 220 МДж/кг с учетом потерь в штабеле. Это соответствует КПД в диапазоне от 55 до 75% по отношению к низшей теплотворной способности водорода. Более высокий КПД достигается при плотности тока от 0,5 до 1 А/см².

Исследованные с помощью усовершенствованной математической модели взаимосвязи между параметрами ЭЗ и его эффективностью могут быть использованы при проектировании промышленных электролизных установок, микрогрид с водородными топливными элементами, а также при выполнении детального анализа нормальных, аномальных и аварийных режимов работы ЭЗ.

Литература

1. **Geert, Tjarks., Detlef, Stolten., Matthias, Weßling** PEM-Elektrolyse-Systeme zur Anwendung in Power-to-Gas Anlagen / — Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Energie & Umwelt, Aachen, 2017. — 155 p.
2. **PEM Electrolysis System** // The Official Website of MathWorks® MATLAB®: [website] — USA, 2024. — URL: <https://www.mathworks.com/help/simscape/ug/pem-electrolysis-system.html> (дата обращения: 03.11.2024).

А.С. Жуков, студ. ;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОБМЕНА ДАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОТОТИПА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА

Современные тенденции по разработке нового мехатронного оборудования связаны с его усложнением, вызванным увеличением количества узлов. Это же касается и разработки прототипов современного оборудования, к которым относится физическая модель портального крана [1]. Данная модель содержит восемь управляемых электроприводов (два на каждое колесо для его движения и поворота).

Особенность работы такого механизма предполагает одновременное управление всеми приводами, что вызывает необходимость их объединения в единую сеть.

Целью работы является разработка устройства обмена данными электроприводов прототипа механизма передвижения крана.

Подобный портальный кран имеет большое число приводов, необходимых для решения задач движения крана, моста и одновременного подъёма груза с учетом оптимизации по быстродействию и гашению колебаний. В связи с этим рациональным представляется решение, направленное на объединение процедуры обмена данными всех электроприводов по шине CAN.

На первом этапе был реализован прототип устройства осуществляющего обмен данными между двумя микроконтроллерами. Для физической реализации связи использовались модули MCP2515 (рис. 1).

В результате была решена задача обмена данными с другим микроконтроллером, которая может быть использована для управления электроприводом, а так же для передачи текущей информации о скорости движения колеса и его угле поворота. Созданный прототип может быть усовершенствован за счет увеличения количества модулей и микроконтроллеров.



Рис. 1. Внешний вид CAN модуля

Литература

1. Жуков, А.С. Разработка прототипа механизма передвижения крана всенаправленного движения / А.С. Жуков // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 29 февраля — 02 2024 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2024. — С. 1332. — EDN ZUFKMG.

С.А. Гришанов, асп.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ IEEE STD 1110™-2019

Использование для математического моделирования переходных процессов в синхронных генераторах (СГ) схем замещения с одинаковой взаимоиндукцией между контурами может приводить к недопустимым погрешностям при расчете тока в обмотке возбуждения (ОВГ).

Стандартом IEEE Std 1110™-2019 [1] регламентируется метод синтеза детализированных схем с различной взаимоиндукцией. Он основан на математических связях между параметрами схемы и постоянными времени $\tau_d^{(k)}$, $\tau_{d0}^{(k)}$ и $\tau_{G0}^{(k)}$, аппроксимирующими частотные характеристики (ЧХ) входного сопротивления $x_d(js)$ и роторной проводимости $G(js)$.

Экспериментально постоянные времени определяются для одного какого-либо состояния обмотки статора — короткозамкнутого ($\tau_d^{(k)}$) или разомкнутого ($\tau_{d0}^{(k)}$). Для другого состояния осуществляется пересчет через переходные индуктивности СГ. При таком подходе погрешности экспериментальных характеристик $x_d(js)$ могут превышать 30%. В работе разработаны численные методы, позволяющие на основе адекватности ЧХ $x_d(js)$ осуществлять точный взаимный пересчет указанных постоянных времени.

Значения $\tau_{G0}^{(k)}$ определяются на основе аппроксимации экспериментальных ЧХ $G(js)$. Существующие методы определения ЧХ $G(js)$ позволяют получать последние с большими относительными погрешностями в области значений скольжений более 0,001–0,002 о.е.

Выполненный анализ точности метода показал нецелесообразность использования таких схем для уточненного моделирования переходных процессов в ОВГ. Предложен способ уточнения параметров, отражающих влияние обмотки возбуждения СГ, что позволит повысить достоверность определения режимных параметров переходных процессов в электрических системах на основе математического моделирования.

Литература

1. Electric Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Std 1110™-2019: Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Parameter Verification with Applications in Power System Stability. USA: IEEE, 2019. — 81 p.

А.С. Хапченков, асп.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

К главным элементам электроэнергетических систем, в первую очередь, следует отнести силовые трансформаторы (СТ). С позиций законов электротехники они представляют собой индуктивно-связанные трёхфазные обмотки, обладающие активными и индуктивными сопротивлениями [1]. Для математического моделирования двухобмоточный трансформатор можно представить в виде шести линейных активно-индуктивных элементов, объединенных между собою в зависимости от заданной группы соединения их обмоток.

Для удобства построения математической модели (ММ) СТ в [2] предложено использовать матрицы активных сопротивлений и индуктивностей, а также реализацию модели СТ в реальных фазных координатах $(a, b, c, 0)$ с учётом схемы соединения его обмоток.

В данной работе предложено в матрицу активных сопротивлений соответствующей обмотки, соединенной в звезду с изолированной нейтралью, искусственно включить добавочное активное сопротивление. Это позволит сократить объём вычислительных операций, поскольку отпадает необходимость в расчете напряжения в нулевом узле.

В предложенной в работе ММ СТ потери в стали магнитопровода, в отличие от известных моделей, учитываются в виде отдельного контура, представляющего собой последовательно соединённые активное сопротивление (R_{fe}) и индуктивность (L_{fe}).

Построение ММ СТ с расщеплённой обмоткой низшего напряжения, а также трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов осуществляется аналогично предложенной модели двухобмоточного.

Корректная работа усовершенствованной математической модели силового трансформатора с учётом потерь в стали магнитопровода подтверждена расчетами на ПЭВМ с использованием пакета РТС® MathCAD®.

Литература

1. **Копылов, И.П.** Математическое моделирование электрических машин [Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп.] / И.П. Копылов — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с.
2. **Сивкобыленко, В.Ф.** Математическое моделирование в электротехнике и энергетике [Уч. Пособие] / В.Ф. Сивкобыленко — Донецк, РИА ДонНТУ, 2005. — 350 с.

*А.С. Сергиенко, соиск.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Одним из основных типов электроприводных машин переменного тока, применяемых в настоящее время благодаря относительно высокой надёжности и простоте эксплуатации в промышленности, а также в системе собственных нужд современных тепловых и атомных электростанций являются асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) [1].

Для осуществления качественного исследования различных режимов работы АД, в том числе и аварийных, необходимо проведение соответствующих экспериментов, что не всегда возможно осуществить на практике по причине необходимости наличия специальных измерительных комплексов и др. Поэтому наиболее перспективным путём является дальнейшее совершенствование математических моделей (ММ) АД с КЗР.

В ранее разработанных ММ асинхронных машин [2] для анализа переходных процессов используются системы дифференциальных уравнений (ДУ), решаемые с помощью явных методов численного интегрирования. При вычислении подобных систем ДУ часто возникают трудности, связанные с получением численной устойчивости решения, например, при моделировании режимов коммутации.

В работе представлена усовершенствованная дискретная математическая модель широкополосного АД, основанная на использовании неявного метода численного интегрирования (метод Шихмана), в которой учтены потери в стали магнитопровода статора и скин-эффект в обмотке короткозамкнутого ротора.

Корректная работа усовершенствованной дискретной математической модели АД с КЗР реализована и проверена на ПЭВМ с использованием пакета РТС® MathCAD® для АД с КЗР номинальной мощностью 8000 кВт и напряжением статора 6 кВ.

Литература

1. **Аббасова, Э.М.** Собственные нужды тепловых электростанций / Ю.М. Голоднов, В.А. Зильберман, А.Г. Мурзаков: под ред. Ю. М. Голоднова — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 272 с.
2. **Сивокобыленко, В.Ф.** Математическое моделирование в электротехнике и энергетике [Уч. Пособие] / В.Ф. Сивокобыленко — Донецк, РИА ДонНТУ, 2005. — 350 с.

*О.В. Пеньков, соиск.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Одним из ключевых типов ветровых энергетических установок (ВЭУ), применяемых в настоящее время в мире, являются ВЭУ на основе асинхронных генераторов двойного питания (АГДП) номинальной мощностью от 1 до 6,5 МВт [1]. Современный АГДП представляет собой асинхронную машину (АМ) с фазным ротором (ФР), статор которой подключён напрямую к электроэнергетической системе (ЭЭС) через блочный повышающий трансформатор (БПТ), а в цепь ротора подключён полупроводниковый преобразователь частоты (ПР), в задачу которого входит подача в обмотку ФР АМ напряжения и тока с частотой текущего скольжения для стабилизации частоты напряжения статора, равной 50 Гц.

Поскольку на практике выполнить качественное исследование различных режимов работы ВЭУ на основе АГДП не всегда осуществимо, то наиболее целесообразным для этих целей использовать математические модели (ММ) для ПЭВМ.

В данной работе с целью повышения точности и устойчивости была усовершенствована и реализована в комплексе MathWorks® MATLAB® ММ современного ВЭУ на основе АГДП, отличающаяся от известных моделей применением эквивалентной схемы замещения АМ с ФР с учётом насыщения по пути главного магнитного потока, учётом скин-эффекта в обмотке ротора в виде двух параллельно включённых контуров, также с учётом потерь в стали магнитопровода статора в виде специального короткозамкнутого контура с последовательно включёнными активным сопротивлением и индуктивностью, аналогично роторным контурам. В модели БПТ также выполнен учёт насыщения магнитопровода. В качестве алгоритма цифровой системы управления преобразователем частоты в цепи ротора использовалась логика, описанная в [1].

Выполнены исследования поведения ВЭУ с АГДП номинальной мощностью 2500 кВт в аварийных режимах, таких как двухфазные и трёхфазные короткие замыкания, как на стороне генераторного напряжения, так и на стороне ЭЭС.

Литература

1. **Abad G., López J., Rodríguez M. A., Marroyo L, Iwanski G.** Doubly Fed Induction Machine: Modeling and Control for Wind Energy Generation — Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011. — 620 p.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ I — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА	5
Секция 1. Теоретические основы радиотехники	6
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов	12
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов	15
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн	31
Секция 5. Радиолокация и дистанционное зондирование	45
Секция 6. Оптико-электронное приборостроение	48
Секция 7. Радиосистемы навигации и связи	66
Секция 8. Фотоника	90
Секция 9. Промышленная электроника	103
Секция 10. Электроника и наноэлектроника	127
Секция 11. Биомедицинская электроника	145
НАПРАВЛЕНИЕ II — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	156
Секция 12. Устройства и узлы систем интернета вещей	157
Секция 13. Математическое моделирование	182
Секция 14. Прикладная математика	195
Секция 15. Вычислительная техника и САПР	227
Секция 16. Вычислительные машины, сети и системы	230
Секция 17. Управление и интеллектуальные технологии	262
Секция 18. Вычислительно-измерительные системы	284
Секция 19. Неразрушающий контроль и диагностика	300
НАПРАВЛЕНИЕ III — БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	308
Секция 20. Информационная безопасность	309
Секция 21. Прикладная и бизнес-информатика	346
НАПРАВЛЕНИЕ IV — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	402
Секция 22. Электромеханические преобразователи энергии	403
Секция 23. Физика и технология материалов и компонентов	433

Секция 24. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы	455
Секция 25. Электрические и электронные аппараты	479
Секция 26. Электропривод и автоматика	509
Секция 27. Промышленные электротермические установки	529
Секция 28. Электрический транспорт	553
НАПРАВЛЕНИЕ V — ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	563
Секция 29. Техносферная безопасность	564
НАПРАВЛЕНИЕ VI — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ	616
Секция 30. Общие вопросы экономики	617
Секция 31. Экономика промышленности	636
Секция 32. Менеджмент	657
НАПРАВЛЕНИЕ VII — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ	683
Секция 33. Промышленная электроэнергетика	684
Секция 34. Энергетика теплотехнологии	697
Секция 35. Инновационные технологии в теплоэнергетике и машиностроении	712
Секция 36. Энергетические системы и комплексы	719
Секция 37. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики	736
Секция 38. Энергосбережение и промышленная экология	744
Секция 39. Промышленные теплоэнергетические системы	756
Секция 40. Электрохимическая и водородная энергетика	775
Секция 41. Экономика энергетики	793
НАПРАВЛЕНИЕ VIII — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА	814
Секция 42. Атомные электрические станции и установки	815
Секция 43. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии	851
Секция 44. Теплофизика	861
Секция 45. Техника и физика низких температур	909
Секция 46. Нанотехнологии	927

НАПРАВЛЕНИЕ IX — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	937
Секция 47. Котельные установки и охрана окружающей среды	938
Секция 48. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС	952
Секция 49. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций.	969
Секция 50. Контроль, автоматизация и управление в энергетике	986
Секция 51. Теплотехника и малая распределенная энергетика	1017
НАПРАВЛЕНИЕ X — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ	1044
Секция 52. Энергетические установки и двигатели.	1045
Секция 53. Проблемы технологии, надежности и конструирования	1050
Секция 54. Робототехнические и мехатронные системы	1063
НАПРАВЛЕНИЕ XI — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	1077
Секция 55. Электроэнергетические системы.	1078
Секция 56. Электроснабжение	1089
Секция 57. История энергетики	1101
Секция 58. Электрические станции	1116
Секция 59. Секция имени профессора Б.К. Максимова «Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов»	1132
Секция 60. Теоретические основы электротехники	1156
НАПРАВЛЕНИЕ XII — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	1163
Секция 61. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии	1164
НАПРАВЛЕНИЕ XIII — СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	1193
Секция 62. Промышленный и медиа дизайн	1194
Секция 63. Электроэнергетика в военном деле.	1205
Секция 64. Специальные вопросы электроэнергетики Донбасса.	1214

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Тридцать первая международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов

Подписано в печать 28.02.2025 г. Формат 60 x 90/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 77,75

Тираж 80 экз. Заказ № 90-02/25.

Оригинал-макет и полиграфические работы –
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».

Тел.: (495) 252-7510.

<http://www.raduga-print.ru>

<http://www.radugaprint.ru>