

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»



XXVII Международная научно–техническая  
конференция студентов и аспирантов

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА



11–12 марта 2021 г. МОСКВА

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  
МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ РНК СИГРЭ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

---

ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

11–12 марта 2021 г.

МОСКВА

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



МОСКВА

НИУ «МЭИ»

2021

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:  
P 154 Двадцать седьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с.

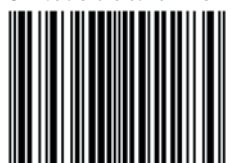
ISBN 978-5-907292-28-4

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

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

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

ISBN 978-5-907292-28-4



9 785907 292284 >

© Авторы, 2021

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2021

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Председатель — Н. Д. Рогалев, ректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В. К. Драгунов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В. Н. Замолодчиков, первый проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — А. Е. Тарасов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель, ответственный секретарь — Р. Р. Насыров, доцент кафедры ЭЭС НИУ «МЭИ»  
С. В. Вишняков, директор ИВТИ НИУ «МЭИ»  
С. А. Грузков, профессор кафедры ЭКАОиЭТ НИУ «МЭИ»  
А. В. Дедов, директор ИТАЭ НИУ «МЭИ»  
С. В. Захаров, директор ИЭВТ НИУ «МЭИ»  
В. И. Ивахненко, заместитель директора ВИИ НИУ «МЭИ»  
Н. Л. Кетоева, заведующий кафедрой МЭП НИУ «МЭИ»  
О. Е. Кондратьева, заведующий кафедрой ИЭиОТ НИУ «МЭИ»  
И. В. Меркурьев, и. о. директора ЭнМИ НИУ «МЭИ»  
А. Ю. Невский, директор ИнЭИ НИУ «МЭИ»  
И. Н. Мирошникова, директор ИРЭ НИУ «МЭИ»  
А. Б. Родин, директор ГПИ НИУ «МЭИ»  
В. Н. Тульский, директор ИЭЭ НИУ «МЭИ»  
Т. А. Шестопалова, директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ»  
С. А. Абдулкеримов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе  
Ю. Б. Кузин, директор филиала «НИУ «МЭИ» в г. Конаково (КЭК)  
М. М. Султанов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжский  
А. С. Федулов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
А. А. Еремеев, ведущий программист ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ»  
А. О. Горбунова, заведующий ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ»  
А. И. Смыслина, программист 1 категории ОВР ИВЦ НИУ «МЭИ»

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

- С. В. Вишняков, директор ИВТИ НИУ «МЭИ»  
С. А. Грузков, профессор кафедры ЭКАОиЭТ НИУ «МЭИ»  
А. В. Дедов, директор ИТАЭ НИУ «МЭИ»  
С. В. Захаров, директор ИЭВТ НИУ «МЭИ»  
В. И. Ивахненко, заместитель директора ВИИ НИУ «МЭИ»  
Н. Л. Кетоева, заведующий кафедрой МЭП НИУ «МЭИ»  
О. Е. Кондратьева, заведующий кафедрой ИЭиОТ НИУ «МЭИ»  
И. В. Меркурьев, и. о. директора ЭнМИ НИУ «МЭИ»  
А. Ю. Невский, директор ИнЭИ НИУ «МЭИ»  
И. Н. Мирошникова, директор ИРЭ НИУ «МЭИ»  
А. Б. Родин, директор ГПИ НИУ «МЭИ»  
В. Н. Тульский, директор ИЭЭ НИУ «МЭИ»  
Т. А. Шестопалова, директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ»  
С. А. Абдулкеримов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе  
Ю. Б. Кузин, директор филиала «НИУ «МЭИ» в г. Конаково (КЭК)  
М. М. Султанов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжский  
А. С. Федулов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

**Направление I**

**РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Radio engineering and Electronics**

---

**Руководитель направления:**

д.т.н., профессор

Мирошникова Ирина Николаевна —  
директор института радиотехники  
и электроники им. В.А. Котельникова  
НИУ «МЭИ»

**Секция 1**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ**  
**Theoretical basis of radio engineering**

---

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

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

Я.М. Красовская, студ.; рук. С.В. Анисимов, к.т.н., доц.;  
А.И. Терехов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

## ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ БИМОРФНОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Целью работы является исследование зависимости коэффициента передачи биморфного пьезопреобразователя от размеров электрода преобразователя.

В учебном пособии [1] графически представлена зависимость коэффициента передачи биморфного пьезопреобразователя  $K_{пер}$  от отношения диаметров электрода преобразователя  $d/D$  при возбуждении с кольцевого электрода. Для улучшения свойств преобразователя и снижения энергозатрат необходимым является увеличение коэффициента передачи [2]. Поэтому важно прогнозировать получаемый коэффициент ещё при проектировании устройства.

Для получения аналитического описания зависимости был произведён анализ исходной характеристики с помощью квадратичной и показательно-степенной регрессий. В работе получены уравнения регрессий и рассчитаны коэффициенты расхождения для их сравнения. В результате была получена формула, дающая наилучшее приближение к заданной характеристике. С коэффициентом расхождения  $\Phi=0,07$  квадратичная регрессия описывает исходную зависимость лучшим образом.

С помощью получившегося уравнения квадратичной регрессии:  $K_{пер} = -9,13 \cdot d/D^2 + 9,3 \cdot d/D^{-0,01}$  можно оценить влияние размеров электрода пьезопреобразователя на его коэффициент усиления и сделать рациональный выбор соотношения размеров преобразователя при проектировании для получения нужного коэффициента передачи.

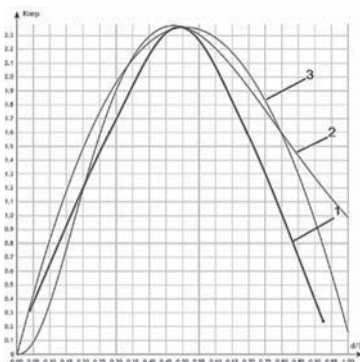


Рис. 1. Исходная зависимость (1), показательно-степенная регрессия (2), квадратичная регрессия (3)

### Литература

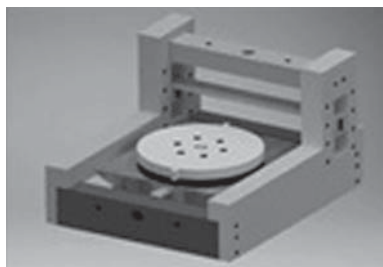
1. **Смирнов Ю. А.** Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие. — СПб. Издательство “Лань”, 2017.
2. **Шарапов В. М.** Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. — М.: Техносфера, 2006.



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

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ И СФЕРИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ**

Для электромагнитных волн сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн широкое применение получили диэлектрические резонаторы (ДР). Они просты и технологичны в изготовлении. Для технологического контроля требуется автоматизированный измерительный комплекс с различными настройками и отчетами.



**Рис. 1.** Измерительная оснастка

В настоящей работе обсуждаются возможности и ограничения комплекса. Для получения характеристик резонатора производится сканирование полей в трех координатах, а затем вычисляются требуемые параметры. Используемый при разработке метод получения параметров ДР описан в [1] и [2]. Полученная конструкция позволяет измерять характеристики NRD, расчет которого указан в [3] и [4]. В состав комплекса входят генератор, соединенный с диэлектрическим волноводом, который

при помощи распределенной связи возбуждает диэлектрический резонатор. Съем информации о электромагнитном поле объекта исследования производится механическими пассивными зондами, а фиксация по отклику прямого и отраженного от участка сигнала через СВЧ детекторные головки. Для обработки сигналов, управления механическими приводами в работе используется микроконтроллер ATmega 2560. Со стороны ПК установка управляется программой, позволяющей строить распределения полей и графики параметров.

В результате работы была подготовлена документация и реализована модель оснастки, написаны управляющие программы.

### **Литература**

1. **Взятых В. Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Советское радио, 1970.
2. **Ильченко М. Е.** Диэлектрические резонаторы. М.: Радио и связь, 1989.
3. **Гурьянов А. Ю., Крутских В. В.** Инженерный расчет и оптимизация параметров полукранированного диэлектрического волновода в неизлучающем режиме // Вестник МЭИ. 2017. Vol. 1. P. 92–97.
4. **Добромыслов С. В.** Вычислительная программа для расчета характеристик открытых дисковых диэлектрических резонаторов с азимутальными колебаниями. М.: МЭИ, 1991.

*Я. В. Виноградов, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПИРОМЕТР ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ГАЗОВОГО ПОТОКА НА ПЛИС**

При разработке устройств и эксплуатации двигателей одними из основных параметров, которые характеризуют их работу, являются тепловые характеристики камеры сгорания, газового потока и других элементов двигателя. Анализ данных о температурном режиме двигателя позволяет получить общую информацию о состоянии двигателя и отдельных его элементов, а также определить другие рабочие параметры двигателя, в частности тяговые характеристики. Данная задача может быть решена с помощью бесконтактных методов измерения температуры. Методы оптической пирометрии благодаря двум особенностям, а именно бесконтактности и быстрдействию, не вносят возмущение в исследуемую среду и позволяют проводить измерения мгновенных значений температурных полей в темпе реального эксперимента [3].

Сложная структура газового потока влияет на точность интегрального способа измерений из-за сложных соотношений спектральной поглощательной и излучательной способностей различных слоев газа с разными температурами. Был выбран метод измерения температуры по отношению интегральных интенсивностей излучения в двух узких спектральных диапазонах, или метод спектральных отношений. На основе этого метода планируется разработать пирометр для томографической измерительной системы локальных температур газового потока [2, 3].

Проектирование пирометра рассмотрено с использованием ПЛИС ввиду широкой области возможной реализации алгоритмов и/или управления, которые им требуются, а также высоким быстродействием, при котором современные ПЛИС могут работать с частотой в сотни мегагерц. Были рассчитаны структурная и электрическая схемы пирометра [1, 2].

В дальнейшем планируется собрать макет пирометра и экспериментально определить его итоговые характеристики, чтобы оценить пригодность использования его как приемника излучения в томографической измерительной системы локальных температур газового потока..

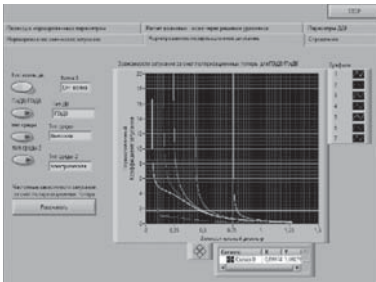
### **Литература**

1. **К. Николай.** Введение в Verilog — язык описания цифровых схем.
2. **А. А. Смирнов.** Журнал «Современная электроника» выпуск № 8, 9 2019.
3. **А. Ю. Поройков, В. С. Фланден, К. М. Лапицкий.** Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения © — 2019 г.

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

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУЭКРАНИРОВАННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ И ДИСКОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Целью работы была разработка программы решающей технологические задачи при проектировании функциональных устройств на дисковых диэлектрических резонаторах (ДДР) и полуэкранированных диэлектрических волноводах (ПЭДВ).



**Рис. 1.** Программа расчета параметров ДВ, ПЭДВ и ДР

Диэлектрические СВЧ узлы и элементы нашли применение в современных системах различного назначения. Чтобы значительно облегчить проектирование и оценку сложных устройств, создан программный комплекс на базе знаний изложенных в [1] и [2], который помогает находить не худшие параметров требуемых элементов и узлов. Простота в эксплуатации позволяет экономить время на разработку устройств, а наглядность полученных характеристик дает возможность прогнозировать изменения свойств от изменения параметров.

Программа в настоящей версии позволяет проводить оценочный расчет параметров дисперсионной характеристики и затуханий ДВ и ПЭДВ, а также расчеты резонансных частот и добротности цилиндрических ДДР в основу которых легла работа [3]. Отличительной чертой комплекса является представление характеристик в нормированном виде для сравнения и оценки что, значительно облегчает исследования этих структур в широкой полосе частот. А возможность быстро переходить из относительных величин к физически упрощает разработчику решение технического задания.

### Литература

1. **Взятых В. Ф.** Основы теории и принципы применения диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона. Дисс. д.т.н. М: МЭИ (ТУ). 1970.
2. **Гурьянов А. Ю., Крутских В. В.** Инженерный расчет и оптимизация параметров полуэкранированного диэлектрического волновода в неизлучающем режиме // Вестник МЭИ. 2017. Vol. 1. P. 92–97.
3. **Добромыслов С. В.** Вычислительная программа для расчета характеристик открытых дисковых диэлектрических резонаторов с азимутальными колебаниями. М.: МЭИ, 1991.

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

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ DTH-11 ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫЙ ДОМ»**

Одними из основных датчиков системы «Умный дом» — являются датчики температуры и влажности. Особенный интерес вызывает к широко применяемому датчику DTH-11, который широко применяется в сфере Интернет Вещей (IoT — Internet of Things). Параметры и режимы работы датчика описаны в документации [1]. В реальных устройствах место имеет разброс параметров, в результате чего могут возникать ошибки в работе интеллектуальной системы управления.

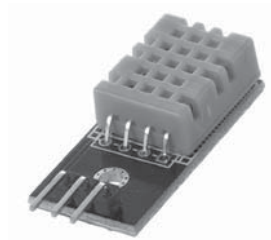


Рис. 1. Датчик DTH-11

В настоящей работе проведено исследование датчиков при одинаковых условиях и различных параметрах среды (температуре и влажности). В работе был определен разброс параметров статистическими методами. Для этого была создана установка, состоящая из пяти датчиков и управляющего микроконтроллера ATmega 2560 и модель климатической камеры, внешние измерители температуры и влажности, а также проведена серия измерений при различных климатических условиях и электромагнитной обстановке. Разработка ПО выполнен на основе алгоритмов предложенных в [2]. Проведена статистическая обработка, которая показала взаимосвязь ухода точности измерения влажности при увеличении температуры к допустимой границе.

Результаты работы могут быть применены для калибровки датчиков на граничных участках рабочего диапазона и выработать соответствующие рекомендации по их применению.

### **Литература**

1. Инструкция на датчик DTH-11 (электронный ресурс) [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11\\_Aosong.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11_Aosong.pdf) [дата доступа 01.11.2020]
2. **Авдеев А. С., Герасимова А. И.** Основные проблемы программирования систем умного дома // М.: Перспективы науки, — 2014. — 245 с.

*Н. М. Ситалиев, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНЦЕПЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ**

Специалисты во многих отраслях промышленности хотят лучше понимать свойства материалов, с которыми им приходится работать. Это позволяет сократить циклы проектирования, улучшить входной контроль, мониторинг технологических процессов и контроль качества. Каждый материал обладает уникальным набором магнитных и электрических параметров. Точное измерение этих параметров может дать учёным и инженерам ценную информацию, позволяющую наиболее оптимальным образом использовать эти материалы в разрабатываемых устройствах или контролировать процессы изготовления, обеспечивая более высокое качество [1, 2].

Измерение характеристик диэлектрических материалов может дать очень важную информацию для многих направлений. Например, потери в изоляции кабеля, сопротивление подложки или частота диэлектрического резонатора непосредственно связаны с диэлектрическими свойствами. Также эта информация полезна для улучшения свойств ферритов, поглотителей излучения и конструкций корпусов.

В данном докладе представлены обзоры мирового рынка современной измерительной аппаратуры и узлов в данной области и поглотителей, идея измерительной установки в широком диапазоне частот (от десятков килогерц до десятков гигагерц). Также в отличии от аналогов в ней предусмотрено исследование влияния внешнего магнитного поля (до 15 кЭ) и интеграция теории в эксперимент. Представлены возможные варианты реализации отдельных узлов измерительной системы и измерительных ячеек.

В дальнейшем планируется собрать установку в несколько этапов и расширить базу моделей устройств, для возможности моделирования для исследования характеристик с последующим проектированием устройств на основе исследуемых материалов.

### **Литература**

1. Сайт «Юнитест». Статья «Keysight technologies основы измерения диэлектрических свойств материалов» — электронный ресурс — открытый доступ — URL: <http://www.unitest.com/> (дата обращения: 02.11.2020 г.)
2. **Е. С. Боровик, А. С. Мильнер, В. В. Еременко.** Лекции по магнетизму, Харьков — 1972, 248 с.

А. А. Меркулов, асп.; ст-ты Н. А. Белянкин, Н. О. Игнатъев;  
рук-ли С. А. Жгун, к.т.н., с.н.с.; А. С. Швецов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

## ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СИГНАЛОВ — ОТКЛИКОВ ОТ НЕСКОЛЬКИХ РЕЗОНАТОРОВ НА ПАВ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАДАННОГО УЧАСТКА

Решение задачи интерференции сигналов от нескольких датчиков вибраций на ПАВ является актуальной на сегодняшний день задачей, поскольку датчики на ПАВ особенно интересны для измерения в условиях высоких температур в интервале от 200 до 800°C. При этом датчики способны помимо информации о вибрации также передавать информацию о температуре [1], однако это требует использование нескольких резонаторов с их индивидуальными откликами.

В ходе работы были промоделированы случаи, когда использовались датчики с одинаковыми резонансными частотами, датчики с различными частотами отклика и случаи, когда датчики находились на расстоянии порядка нескольких сантиметров и на расстоянии порядка нескольких десятков сантиметров, в частности, как на рисунке 1. Итоговый сигнал представляет собой сумму переизлученных сигналов с отличающимися частотами и начальными фазами.

Полученный в работе результат является полезным для решения задачи идентификации отклика от каждого датчика и позволяет получать информацию о вибрации и температуре каждого участка в отдельности.

В результате работы были получены аналитические выражения для оценки вклада отдельных сигналов от каждого датчика в точке приемника в суммарный итоговый сигнал в зависимости от значения частоты и фазы переизлученных сигналов.

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90090.

### Литература

1. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах // Москва «Радио и связь». — 1990. — с. 154.

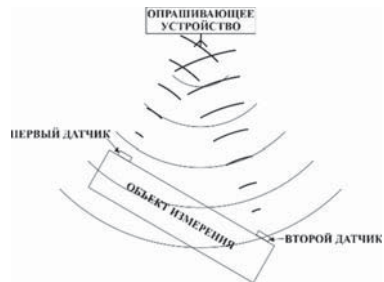


Рис. 1. Схема размещения датчиков по отношению к опрашивающему устройству

*А. В. Очиров, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ**

В последние десятилетия в радиоэлектронике, автоматике, телемеханике, вычислительной технике и других областях всё более широкое применение находят полупроводниковые фотоприемники излучения.

Фотоприемники заняли такое важное место в технике, что без их использования было бы немислимо создание важнейших систем и устройств как гражданской, так и оборонной техники. Кино- и фототехника, волоконно-оптические линии связи и дальнометрия, лазерная локация и лазерная передача информации, системы тепловидения и прицеливания, разведка природных ресурсов и астрофизические исследования, диагностика плазмы и ранних этапов заболеваний человека, анализ загрязнений окружающей среды и многие другие области техники не могут успешно развиваться без применения различных типов современных фоточувствительных устройств [1, 2].

Фотоприемник обеспечивает преобразование теплового излучения в выходной электрический сигнал. Учитывая, что от фотоприемника и его функционирования в значительной мере зависит качество работы пирометра спектрального отношения, задача его проектирования представляется весьма актуальной.

В данном докладе представлены обзоры мирового рынка современных фоточувствительных элементов, идея пирометра спектрального отношения для измерения температур газового потока в диапазоне 1000–3500 К. Рассмотрены спектры излучений определенных материалов и веществ. Представлены возможные варианты реализации устройства с применением фоточувствительных элементов, работающих в диапазоне длин волн 0,9–1,5 мкм.

В дальнейшем планируется изготовить макет пирометра и экспериментально определить его характеристики. Провести апробацию макета как при измерении температур поверхностей, так и газов.

### **Литература**

1. **Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н.** Вакуумные фотоэлектронные приборы. — 2 изд. — М., 1988.
2. **Тумерман Л. А.** Фотоэлемент и его применения. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 266 с.

*М. К. Солнцева, студ.; рук. В. С. Фланден, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНЦЕПЦИЯ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕСТРОЙКИ**

Современные синтезаторы должны обеспечивать широкий диапазон генерируемых частот с малым шагом частотной сетки, а также низкими фазовыми шумами и побочными спектральными составляющими. В настоящее время наблюдается тенденция по увеличению скорости перестройки. Время, требуемое для перестройки с одной частоты на другую, является критическим параметром, так как обычно не может быть использовано для приема или передачи сигнала. Новые поколения систем связи имеют большую пропускную способность, а значит, требуют всё более высоких скоростей перестройки. Даже для традиционно «медленных» измерительных приборов необходимо увеличение скорости перестройки для более быстрого сканирования в рабочем диапазоне частот. Время переключения новейших систем должно измеряться десятками микросекунд при сохранении чистоты спектра выходных колебаний (то есть уровня фазовых шумов и побочных спектральных составляющих), присущей синтезаторам с большим временем переключения [1, 2].

В аналоговых синтезаторах частот прямого синтеза достигается хорошее сочетание скорости переключения и чистоты спектра [3]. Однако высокая стоимость ограничивают широкое применение синтезаторов этого типа. Устройства косвенного синтеза на основе фазовой автоподстройки частоты получили гораздо более широкое распространение из-за относительной простоты реализации и существенно меньшей стоимости. В докладе приведены обзоры современных синтезаторов частот, методов синтеза, влияние их на основные параметры синтезаторов. Смоделирован синтезатор частот, исследованы основные характеристики с точки зрения влияния на скорость перестройки.

В дальнейшем планируется более детально исследовать отдельные узлы синтезаторов частот на влияние их параметров на скорость перестройки и чистоту спектра выходных колебаний с целью разработки нового синтезатора частоты.

### **Литература**

1. **Browne J.** Frequency Synthesizers Tune Communications Systems. Microwaves & RF. March 2006
2. **Regazzi J., Gill R.** Signal Generator Melds Speed with Low Phase Noise. Microwaves & RF. Oct. 2006
3. **В. Манассевич.** «Синтезаторы частот (Теория и проектирования)» Пер. с англ. / под ред. А. С. Галина. М.: Связь, 1979. — 384 с.



*Б. Зандан, асп.; рук-ли, А. Г. Ченский, к.т.н., доц. (ИРНТУ, Иркутск); О. Бухцож, к.т.н., с.н.с.; Т. Галбаатар, д.ф.-м.н., в.н.с. (Институт физики и технологии Академии наук Монголии, г. Улан-Батор)*

## РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ПО СЛОГАМ

Целью работы является исследование возможности распознавания речевого сигнала в монгольском языке, используя при этом. Особенностью данного исследования является то, что при распознавании речи в качестве признака мы использовали слог слова. Поскольку в монгольском языке слово образуется добавлением суффикса на корень данного слова [1], то распознавание речи с помощью слога позволит разработчикам сократить не только время поиска отдельного слова, но и уменьшить объем хранения базы данных. Для обучения нейронной сети мы использовали алгоритм Левенберга–Марквардта, который хорошо работает при малоразмерной базе данных, что хорошо подходит под наши задачи.

В таблице 1 приведены слова монгольского языка, разложенные по слогам.

**Таблица 1.** Слова монгольского языка по слогам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ас	буд	будэг	дэг	г	шуугиан	тар	ун	унтар	тод

После обучения нейронная сеть распознает слова по слогам с вероятностью 96,5 процентов. В предыдущей работе [2], в которой нейронная сеть распознавала слова с вероятностью 99,1%. Но если будем увеличить базу данных, то нейронная сеть сильно будет загружена, поэтому в дальнейшем распознавание по слогам уменьшит нагрузку процессора.

### Литература

1. **Gao G., Biligetü, Nabuqing, Zhang S.** “A Mongolian Speech Recognition System Based on HMM”, Computational Intelligence. ICIC 2006. Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 4114, pp. 667–676, 2006.
2. **Zandan.B., Odsuren.B., Alexandr G.C., Tuvdendorj G.,** “Speech Recognition in Mongolian Language using a Neural Network with pre-processing Technique”, 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Power Engineering Institute (MPEI), Moscow, 2020.

А. С. Ширинова, П. Н. Прокопьева, студ.; рук. С. В. Анисимов, к.т.н., доц., А. И. Терехов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

## ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГРЕССИВНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Задачей работы является исследование зависимости коэффициента передачи биморфного пьезопреобразователя от его размеров электрода. По характеристикам пьезоэлектрических преобразователей определены квадратичная и экспоненциальная регрессионные зависимости. Для них вычислены коэффициенты расхождения и свободные члены системы.

Важно отметить, что чем лучше регрессия будет описывать характеристику пьезопреобразователя, тем точнее можно узнать коэффициент при заданном размере электрода [1]. Это необходимо знать инженерам для использования максимального ресурса передачи электрических сигналов.

Из пособия [2] взята зависимость коэффициента передачи пьезопреобразователя  $K_{пер}$  от отношения диаметров электрода преобразователя  $d/D$  при возбуждении с кольцевого электрода. Из построения видно, что квадратичная аппроксимация наилучшим образом описывает экспериментальные данные. Экспоненциальная зависимость меньше совпадает с истинным значением, т.к. при вычислении используются преобразованные значения с дальнейшей линеаризацией [3].

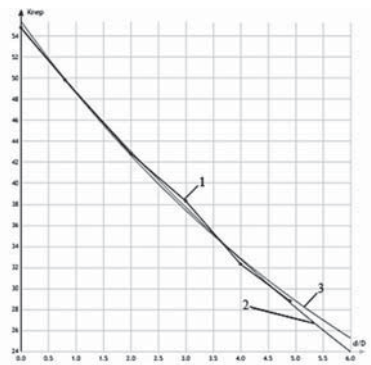


Рис. 1. Исходная зависимость (1), показательная регрессия (2), квадратичная регрессия (3)

### Литература

1. **Шарапов В. М.** Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова. — М.: Техносфера, 2006.
2. **Смирнов Ю. А.** Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие. — СПб.: Издательство “Лань”, 2017.
3. **Петрова А. В.** Вычислительная техника и программирование / Под ред. А. В. Петрова. М.: Высшая школа, 1991.

А. А. Деев, студ.; А. А. Кальщикова, асс. (НИУ «МЭИ»)

## СПОСОБ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ СИНХРОННОЙ СЕТИ ETHERNET

Высокоточная синхронизация пространственно разнесенных устройств является важным этапом для современных телекоммуникационных систем, радиолокационных комплексов, системы регистрации быстропротекающих процессов. Рассматривается способ увеличения точности синхронизации времени на основе протокола *Precision Time Protocol (PTP)* [1], который может быть использован в сети передачи данных, с постоянной задержкой в линии передачи. Использование протокола *PTP* в синхронных сетях *Ethernet* [2] позволяет достичь субнаносекундной точности синхронизации времени между устройствами.

На рис. 1 приведена структурная схема соединения ведущего и ведомого устройств. На первом этапе синхронизации производится установка соединения, далее производится измерение разности фаз. Измеренная разность фаз компенсируется в PLL ведомого устройства. Производится измерение смещения часов и соответствующая коррекция. Завершающий этап — слежение за фазой и коррекция в случае необходимости.

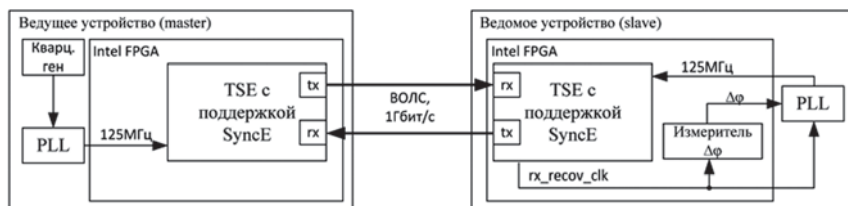


Рис. 1. Структурная схема соединения устройств

Разработанный способ увеличения точности синхронизации времени позволяет добиться систематической ошибки не более 100 пс и среднее квадратичное отклонение ошибки около 300 пс. Такая высокая точность синхронизации, которая обеспечивается с использованием только канала передачи полезных данных, является очень эффективной при повышении уровня интеграции разрабатываемых радиоэлектронных устройств.

### Литература

1. **IEEE std 1588-2008** // IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, New York, USA, 2008.
2. **S. Rodrigues**, IEEE-1588 and SyncE in Telecom // IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication, Vienna, 2007, pp. 138–142.

*А. Э. Мирзоян, асп.; рук. В. В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛИ НА СВОЙСТВА НОРМАЛЬНОГО ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА**

Использование полужэранированных диэлектрических волноводов (ПЭДВ) возможно в системах связи как для передачи информации между навесными компонентами [2] так и для систем 5G (в целях формирования антенн с маленькими габаритами и электронным управлением диаграммы направленности). Для решения данной задачи было необходимо использовать такой тип возбудителя, который удовлетворял бы следующим факторам:

- 1) простой в изготовлении;
- 2) механически надежный;
- 3) небольших габаритных размеров.

Для решения данной задачи особый интерес представляет использование ПЭДВ с щелевым фланцем.

В настоящей работе проведены исследования влияния параметров щели на свойства нормального волноводного перехода. Выявлены закономерности, связывающие размеры щели и диэлектрической проницаемостью диэлектрического стержня (ДС) в ПЭДВ.

Исследования такого типа возбудителя проводились экспериментальными методами численного и физического моделирования. Методами численного моделирования были проанализированы технические решения возбудителей разных размеров щели и ДС (для  $\epsilon = 2,25; 5; 10$ ). Проанализировав результаты моделирования были выбраны типы возбудителей с наиболее хорошими показателями на основе которых были созданы физические модели. На выбор модели для изготовления также влиял факт экономической целесообразности и возможности опытной лаборатории.

В результате работы получен первый анализ использования щели с разными параметрами как возбудитель между принимаемым и передающим устройством в диапазоне частот от 25 до 53 ГГц.

### **Литература**

1. **Kash J. A., Doany F. E., et al.** Chip-to-chip optical interconnects,» in Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference, Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2006), paper OFA3.
2. **Utpal Dey, Jan Hesselbarth.** Building Blocks for a Millimeter-Wave Multiport Multicast Chip-to-Chip Interconnect Based on Dielectric Waveguides. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 2018.
3. **Xiaojun Hu, Fan Li, and Feng Xu.** Transition of CPW to SINRD guide of PCB version. Microwave and optical technology letters, Wiley Periodicals, 2017.

## **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*

К. Ю. Ванин, студ.; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЗАИМНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВУХ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ СПИНТРОННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Возбуждение и детектирование терагерцевых колебаний в антиферромагнитных (АФМ) наноструктурах является важным направлением спинтроники [1].

Возбуждение колебаний в АФМ гетероструктурах основано на переносе спинового момента из слоя тяжелого металла с сильным спин-орбитальным взаимодействием. При превышении величины плотности тока некоторого критического значения [2] возникает неоднородная прецессия намагниченности подрешеток АФМ в базовой плоскости анизотропии на частотах в сотни гигагерц и единицы терагерц. В свою очередь изменение намагниченностей подрешеток АФМ ведет к спиновой накачке из АФМ в слой тяжелого металла, в котором происходит обратный процесс преобразования переменного спинового тока в электрический благодаря обратному спиновому эффекту Холла [2].

В работе исследована схема двух взаимосвязанных через слой тяжелого металла АФМ осцилляторов. В результате численного моделирования был получен график зависимости частот осцилляторов от плотностей электрического тока, протекающих через слой тяжелого металла через каждый из осцилляторов (рис. 1).

Видно, что при определенных значениях плотности тока достигается фазовая синхронизация при равенстве частот синхронизируемых колебаний. Синхронизация двух АФМ характеризуется сдвигом частоты в синхронном режиме вниз по частоте и гистерезисом на границе зон синхронизма.

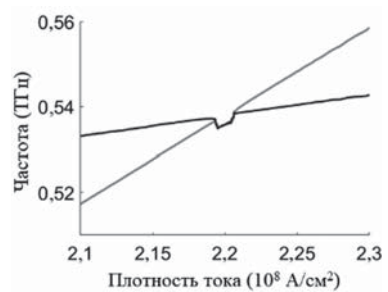


Рис. 1. Зависимость частоты от плотности тока для двух связанных осцилляторов, демонстрирующая явление взаимной синхронизации

### Литература

1. **Voltage-Controlled** Anisotropy and Current-Induced Magnetization Dynamics in Antiferromagnetic-Piezoelectric Layered Heterostructures / P.A. Popov [et al.] // PHYSICAL REVIEW APPLIED 13, 044080 (2020).
2. **Antiferromagnetic** THz-frequency Josephson-like Oscillator Driven by Spin Current / R. Khymyn [et al.] // Sci. Rep. 7, 43705. — Doi: 10.1038/srep43705 (2017).

А. А. Бобурков, студ.; рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ШИРИНА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО СПИНТРОННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

В настоящее время существует проблема, связанная с отсутствием генераторов и детекторов колебаний, способных работать в терагерцевом частотном диапазоне при комнатной температуре. В [1] было показано, что синтезаторы частот, построенные на основе спинтроники (спин-трансферные наноосцилляторы — СТНО) могут использоваться для генерации сигналов в терагерцевом частотном диапазоне. Большинство современных СТНО построены на основе антиферромагнитных структур (АФМ). В данной работе выполнен анализ ширины спектральной линии для АФМ СТНО. Исходя из исследования дифференциального уравнения для вектора Нееля с использованием метода медленно меняющихся амплитуд в [2] получено следующее выражение для ширины спектральной линии колебания:

$$\Delta\omega = (4\gamma k_B T) / (\alpha_G M_0 V_{\text{эф}}), \quad (1)$$

где  $\gamma$  — гиромагнитное отношение,  $k_B$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура образца в Кельвинах,  $M_0$  — намагниченность насыщения АФМ,  $V_{\text{эф}}$  — эффективный объем образца. Так, ширина спектральной линии для оксида никеля составляет 0,36 МГц при частоте колебаний равной 1 ТГц, что соответствует добротности колебательной системы порядка  $10^6$ . Для уменьшения ширины спектральной линии и снижения нестабильности частоты АФМ осциллятора СТНО может применяться стабилизация частоты внешним высокостабильным гармоническим источником или при помощи фазовой автоподстройки частоты. Данная работа будет являться основой для проектирования высокоэффективного СВЧ-синтезатора колебаний с использованием АФМ структур.

### Литература

1. Сафин А. Р. [и др.] Возбуждение терагерцевых магнонов в антиферромагнитных наноструктурах: теория и эксперимент. — ЖЭТФ, 2020. — т. 158. — Вып. 1 (7). — С. 85–99.
2. Сафин А. Р. Ширина спектральной линии антиферромагнитного спинтронного осциллятора / А. Р. Сафин, А. А. Бобурков // Обзорение прикладной и промышленной математики. — 2020. — Том 27, вып. 1. — С. 88–90.

В. Д. Неретин, студ.;  
 рук. А. Р. Сафин, к. т. н., зав. каф. ФОРС (НИУ «МЭИ»);

## ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Для реализации устройств терагерцевой электроники в настоящее время активно исследуются ферро-, ферри- и антиферромагнетики [1]. В данной работе реализована математическая модель динамики намагниченности в ферромагнетиках, учитывающая ее инерционность, которая обуславливает возникновение колебаний на терагерцевых частотах ( $1 \div 10$  ТГц), собственные резонансные частоты ферромагнетиков на несколько порядков ниже ( $10 \div 100$  ГГц). Динамика вектора намагниченности описывается уравнением Ландау–Лифшица–Гильберта [2] относительно вектора намагниченности  $M(r, t)$ , где  $r$  — вектор, задающий положение точки в пространстве относительно начала координат,  $t$  — время. Путём интегрирования нелинейных уравнений для вектора намагниченности ферромагнетика с внешним терагерцевым воздействием был получен отклик намагниченности от времени (Рис. 1).

Возбуждение терагерцевых колебаний происходит с помощью субпикосекундных импульсов электромагнитного поля, при этом исследуемый образец находится во внешнем магнитном поле.

Таким образом, в работе было показано, что с помощью ферромагнетиков можно эффективно возбуждать терагерцевые колебания и реализовывать терагерцевые источники электромагнитного излучения.

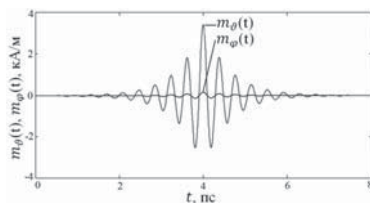


Рис. 1. Колебания полярной  $m_0$  и азимутальной  $m_\varphi$  составляющих вектора намагниченности

### Литература

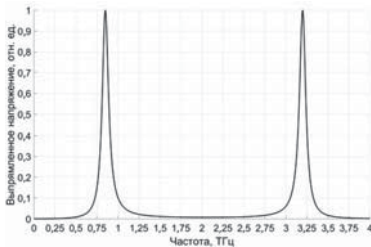
1. **Возбуждение** терагерцевых магнонов в антиферромагнитных наноструктурах: теория и эксперимент / А. Р. Сафин [и др.] // ЖЭТФ. — Т. 158. — Вып. 1 (7). — С. 85–99.
2. **Bocklage L.** / Model of THz Magnetization Dynamics // Scientific Reports 6, 22767 (2016). — С. 1–8.



*Е. Е. Козлова, студ.; рук.: А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## СПИНТРОННЫЙ ПАССИВНЫЙ ДЕТЕКТОР ТЕРАГЕРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Использование детекторов сверхвысокочастотных колебаний на основе антиферромагнетиков (АФМ) [1] позволяет реализовать чувствительность порядка  $10^4\text{--}10^5$  В/Вт на частотах в единицы гигагерц с полосой частот огибающей детектируемого колебания вплоть до долей терагерц, так как частота собственного резонанса АФМ-материалов заметно выше.



**Рис. 1.** Зависимость нормированного выпрямленного напряжения от частоты внешней электромагнитной волны

В данной работе исследуется выпрямление электромагнитной волны с помощью гетероструктуры «АФМ-тяжелый металл», где в качестве АФМ используется  $Mn_2Au$ , имеющий две резонансные частоты 0,85 ТГц и 3,199 ТГц с шириной спектральной линии 60 ГГц. Волна, падающая на образец, вызывает колебания вектора антиферромагнетизма вблизи положения равновесия и спиновый поток из АФМ в слой тяжелого металла – платины (Pt). В платине за счет обратного спинового эффекта Холла спиновый поток преобразуется в электрический ток и возникает разность потенциалов на концах платины, постоянная составляющая которой измеряется. На рис. 1 показана зависимость нормированного выпрямленного напряжения на платине от частоты внешнего источника. Видно, что зависимость носит резонансный характер с двумя характерными частотами, соответствующим частотам АФМ резонанса.

Таким образом, в работе показано, что на основе предложенной структуры  $Mn_2Au$ -Pt можно реализовать детектор амплитуды периодических электромагнитных колебаний.

### Литература

1. Skirdkov P.N. Spin torque diodes: from fundamental research to Applications / P.N. Skirdkov, K. A. Zvezdin // Ann. Phys. (Berlin). 2020, 532,1900460. — С. 1–11.

С. П. Шоркин, асп.;  
рук. С. С. Логинов, д.т.н., проф. (КНИТУ-КАИ, Казань)

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ РЁССЛЕРА

В практике применения формирователей хаотических сигналов на основе элементов аналоговой электроники появляется актуальная потребность их диагностирования с оценкой качества формируемых сигналов.

Цель работы состоит в анализе спектральных характеристик выходных сигналов системы Рёсслера с использованием методов *fft* и *music*.

Аттрактор Рёсслера имеет граничные точки, показывающие хаотические или периодические свойства [1].

В таблице 1 показаны результаты оценки ширины спектра сигналов системы Рёсслера методами *fft* и *music* при  $a = 0,3; r = 4$  и  $a = 0,2; r = 5$ . Спектральный анализ произведён с применением пакета Matlab.

По данным таблицы 1 можно заметить, что для метода *fft* в сигналах  $x, y, z$  на уровнях затухания спектра от -30 дБ до -50 дБ ширина спектра при  $a = 0,3; r = 4$  меньше ширины спектра при  $a = 0,2; r = 5$ .

Для метода *music* в сигналах  $x, y, z$  на тех же уровнях затухания спектра ширина спектра при  $a = 0,3$  и  $r = 4$  меньше, чем ширина спектра при  $a = 0,2$  и  $r = 5$ .

**Таблица 1.** Оценки ширины спектра сигналов системы Рёсслера

		$a = 0,3; r = 4$		$a = 0,2; r = 5$	
	уровень	<i>fft</i>	<i>music</i>	<i>fft</i>	<i>music</i>
$x$	-30	0,01464	0,0415	0,01611	0,04223
	-40	0,02685	0,05152	0,03466	0,06152
	-50	0,05126	0,08789	0,05615	0,093
$y$	-30	0,01053	0,03223	0,01318	0,03441
	-40	0,03052	0,05566	0,04269	0,06126
	-50	0,04687	0,07763	0,07369	0,0808
$z$	-30	0,04492	0,06201	0,05052	0,07667
	-40	0,07128	0,08105	0,09472	0,09814
	-50	0,09667	0,11132	0,13720	0,13571

Анализ полученных данных показал, что для сопоставляемых методов *fft* и *music* на указанных уровнях затухания увеличение сложности поведения системы приводит качественно одинаковым образом к расширению спектра, а различия носят количественный характер.

### Литература

1. **Модель Рёсслера** [электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://sgtnd.narod.ru/science/atlas/rus/charts/ross.htm>

*А. Д. Щербинин, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. К. В. Ромащенко, к. т. н.  
(АО «Российские космические системы», Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОФОТОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В БОРТОВЫХ СПУТНИКОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРАХ**

В настоящее время радиофотоника является хорошо зарекомендовавшей себя ключевой технологией во многих научных и технологических областях, таких как телекоммуникации, радиолокация, измерительное высокочастотное оборудование и здравоохранение. В последнее время радиофотонные решения (Radio-of-Fiber, Radio-Photonics) используются для совершенствования космической электронной аппаратуры [1]. Оптические, оптоэлектронные и радиофотонные полезные нагрузки космических аппаратов широко используются для дистанционного зондирования Земли. Радиофотонные компоненты включаются в подсистемы ориентации в пространстве, питания, управления, формирования и передачи опорных сигналов [2].

Применение радиофотонных компонентов в бортовой спутниковой аппаратуре имеет важные преимущества по сравнению с радиочастотными в части существенно более высокой пропускной способности, необходимого уровня электромагнитной совместимости с бортовой аппаратурой, в подсистемах обработки и маршрутизации данных с учётом малого веса, низкого энергопотребления и стойкости к условиям окружающей среды [3].

Представлен обзор радиофотонных компонентов, применяемых в бортовой спутниковой аппаратуре. Сопоставлены значения параметров компонентов радиофотонных систем, изготавливаемых отечественными производителями, способные конкурировать с моделями зарубежного производства: полупроводниковые лазерные излучатели, оптоэлектронные генераторы — источники высокостабильных колебаний оптического и радиочастотного диапазонов, широкополосные модуляторы Маха-Цендера, фотоприёмные и фотодетекторные модули, оптоволоконные кабели.

### **Литература**

1. **Ciminelli M.** Photonics in space: advanced photonic devices and systems / M. Ciminelli, M. Armenise, F. Dell’Olio // New Jersey: World Scientific. — 2016. — 224 p. (ISBN 978-9-814-72510-1).
2. **Bortsov A. A.** Laser Optoelectronic Oscillators / A. A. Bortsov, Y. B. Il’in, S. M. Smolskiy // Cham: Springer Series in Optical Sciences. — 2020. — 522 p. (ISBN 978-3-030-45699-3).
3. **Shcherbinin A. D.** Microwave Optics Technologies in Satellite Repeaters / A. D. Shcherbinin, L. A. Belov // 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). — 1–3 July 2019. — Yaroslavl, Russia. — DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813963.

*Е. К. Ковалёв, студ.; рук. Л. А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАДИОФОТОННЫЙ ЛИНЕАРИЗАТОР УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ БОРТОВОГО СПУТНИКОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА НА ЛБВ**

Усилители мощности модулированных сигналов диапазона сверхвысоких частот на современных лампах бегущей волны (ЛБВ) [1] широко используются в бортовой космической аппаратуре благодаря стойкости к факторам космической окружающей среды и высокой энергетической эффективности. Для снижения уровня интермодуляционных искажений выходных радиосигналов [2] для них разработаны способы предсказывающей линеаризации амплитудных характеристик. Для увеличения ширины информационной полосы частот перспективны технические решения в области применения радиофотонных компонентов [3].

В вычислительной среде NI AWR Design Environment отлажена имитационная модель ЛБВ с учётом нелинейных амплитудно-фазовых преобразований в лампе и с корректирующим предсказанием радиочастотной огибающей при помощи лазерного источника оптического сигнала, электро-оптического преобразователя спектра в терагерцовый диапазон с последующим фотодетектированием и переходом в радиочастотную полосу. Используются модели радиофотонных компонентов [3], влияющие на частотные преобразования в информационной полосе усиляемого сигнала.

Приведены результаты испытаний модели при вариации характеристик амплитудных преобразований в ЛБВ для двухчастотного сигнала. Результаты испытаний показали преимущества линеаризации с помощью радиофотонных компонентов по сравнению с использованием иных известных предсказывающих устройств.

Сформулированы рекомендации по технической реализации линеаризатора с использованием электрооптического модулятора Маха–Цендера в качестве компенсатора фазового набега в ЛБВ.

### **Литература**

1. **Кудряшов В. П.** Искажения и коррекция сигнала в усилителях на лампах бегущей волны / В. П. Кудряшов, Е. М. Ильина, А. Г. Кудряшов. — М.: Изд-во Радиотехника, 2018. — 618 с.
2. **Белов Л. А.** Интермодуляционные искажения сигналов сверхвысоких частот / Л. А. Белов. — М.: Изд-во Горячая линия — Телеком, 2020. — 144 с.
3. **Портнов Э. Л.** Волоконная оптика: параметры передачи и влияния / Э. Л. Портнов. — М.: Изд-во Горячая линия — Телеком, 2019. — 344 с.

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

## **НЕЙРОСЕТЕВЫЕ КОРРЕКТОРЫ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ БОРТОВЫХ СПУТНИКОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ**

При создании бортовой спутниковой аппаратуры ретрансляции модулированных радиосигналов актуальной является противоречивая проблема обеспечения одновременно высоких значений энергетической эффективности формирования радиосигнала в пределах выделенной полосы несущих частот, спектральной эффективности передачи повышенного количества бит информации в этой полосе и допустимого уровня мешающих излучений в соседних полосах частот при малом уровне интермодуляционных искажений сигнала с непостоянной огибающей [1]. Для её решения разработаны разнообразные методы линеаризации выходного каскада усилителя мощности. Наиболее перспективным направлением при технических ограничениях на скорость обработки информации считают разработку корректоров (предыскажающих компенсаторов) интермодуляционных искажений информационного сигнала на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) [2, 3]. Цель доклада — обзор возможностей и затруднений применения такой технологии в радиотехнических приложениях.

Структурная схема типового усилителя мощности с учётом эффекта памяти включает цифровые блоки предкорректора ПРК информационного потока в канале модуляции и посткорректора ПСК в цепи адаптивной обратной связи. Адаптация в форме обучения 4-слойной нейронной сети производится рекуррентным алгоритмом подбора параметров ПРК и ПСК для минимизации критерия качества (АСРР) в виде относительного уровня мощности излучения в соседнем канале, при котором структура ПРК на  $(n+1)$ -ом шаге совпадает со структурой ПСК на  $n$ -ом шаге. Алгоритм адаптации может быть отлажен в среде MATLAB и реализован на ПЛИС.

Сформулированы рекомендации для последующей реализации нейросетевого корректора и технические ограничения на параметры информационного сигнала и узлов цифровой обработки.

### **Литература**

1. **Хилькевич В. В.** Искусственные нейронные сети и их применение. — М.: МЭИ, 2004. — 68 с.: ил.
2. **Аверина Л. И.** Цифровые корректоры на основе нейронных сетей для линеаризации усилителей мощности / Л. И. Аверина, О. В. Бугров // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. — 2017. № 1. — С. 5–14.
3. **Ки Л. В.** Алгоритмические методы компенсации нелинейности усилителя мощности — М.: Цифровая обработка сигналов. — 2018. — № 1. — С. 71–75.

Л. А. Цырульникова, асп.;  
 рук. А. Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВОЗБУЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ МАГНИТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ЗА СЧЕТ СПИНОВОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Перспективным направлением исследований в спинтронике является изучение процессов прохождения и преобразования электрических и спиновых токов через магнитные микро- и наноструктуры. Наиболее интересным является использование ферромагнитных изоляторов (ФМИ) со спиновым током в изоляторе [1] без протекания через магнитный слой электрического тока. При этом спиновый ток возникает за счёт эффекта Холла.

В данной работе изучены процессы протекания спиновых токов в слое ФМИ из железо-иттриевого граната (ЖИГ) с антеннами из платины, который размещён на подложке из гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) при различном расстоянии между антеннами (рис. 1).

Входной постоянный электрический ток  $j_{вх}$  через первый слой платины возбуждает в ФМИ магнитные колебания и протекание спинового тока, который достигает второго слоя платины. Спиновый ток конвертируется в электрический и регистрируется выходное напряжение  $V_{вых}$ . Процесс переноса спинового момента через изолятор носит характер диффузии.

В докладе изучена зависимость сопротивления  $R = V_{вых} / j_{вх}$  от расстояния  $d$  между первым и вторым слоями платины. С его ростом удельное сопротивление между антеннами экспоненциально уменьшается и для  $d = 1,5$  мкм его значение составляет  $R = 150$  Ом/м.

Изученная модель структуры будет использована при построении наноразмерных линий задержки, т. к. они представляют собой распределенную систему с возбуждающим и детектирующим слоями.

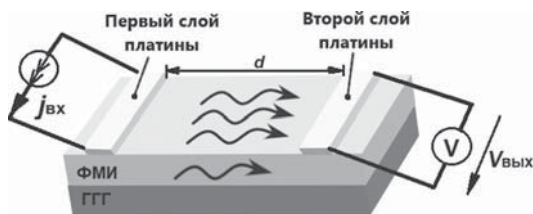


Рис. 1. Модель эксперимента по возбуждению магнитных колебаний в ФМ изоляторе

### Литература

1. Current-induced spin-wave excitation in Pt/YIG bilayer [Электронный ресурс] / Yan Zhou [etat.] // Phys. Rev. — В 88, 184403. — 2013. — Режим доступа: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.88.184403>.

*Д. А. Волков, Д. А. Габриелян, студенты;  
рук-ли А. Р. Сафин, к.т.н., доц.;  
Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВЧ-СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ**

В последнее время активно проводятся исследования различных спинтронных технических решений [1]. Одними из наиболее перспективных, являются наноструктуры, выполненные на магнитных туннельных переходах (МТП), которые состоят из двух магнитных слоев, разделённых изолятором. На их основе построены наноразмерные спинтронные осцилляторы и диоды, которые могут стать функциональными блоками приёмо-передающих радиотехнических устройств.

Ранее была показана возможность приёма и демодуляции СВЧ сигналов спинтронными детекторами [1, 2]. В данной работе с помощью спинтронных детекторов было экспериментально выполнено демодулирование СВЧ колебаний в диапазоне частот 2–3 ГГц с различными видами модуляции, такими как частотная, фазовая и амплитудная. Рассмотрена возможность проектирования приёмников микроволнового диапазона частот, основанных на таких структурах.

Показано, что МТП-структура является перспективным элементом для интегрирования в приёмные устройства, так как её можно рассматривать как генератор, выпрямитель, перемножитель и колебательный контур одновременно. Главным преимуществом таких приёмников является повышенная чувствительность за счёт использования МТП-структур, поэтому не требуется добавление каскадов предварительного усиления слабых входных сигналов в схему приёмника. Дополнительными преимуществами основных узлов полученных приёмников являются малые размеры (100–1000 нанометров) и возможность интегрирования в КМОП-технологии.

### **Литература**

1. **Detection** of the Microwave Emission from a Spin-Torque Oscillator by a Spin Diode / Danijela Marković [et al.] // PHYSICAL REVIEW APPLIED, 2020. — Vol. 13 — № 044050. — P. 1–6.
2. **Digital** and analogue modulation and demodulation scheme using vortex-based spin torque nano-oscillators / A.S. Jenkins [et al.] // Scientific reports, 2020. — Vol. 10 — № 11181. — P. 1–7.

Д. А. Габриелян, Д. А. Волков, студенты;  
рук-ли А. Р. Сафин, к.т.н., доц.;  
Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МАГНИТОМЕТР НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ

В настоящее время приборы, измеряющие магнитные поля (МП), строятся на датчиках Холла, что приводит к громоздким конструкциям, не позволяющим с высокой точностью проводить измерения для небольших объектов. Благодаря структурам, основанным на магнитных туннельных переходах (МТП), основными преимуществами которых является высокая чувствительность и малые размеры (сотни нанометров), появляется возможность создать магнитометр с высокой чувствительностью: изменение частоты колебаний МТП составляет сотни МГц/Э, где  $1 \text{ Э} \approx 79,58 \text{ А/м}$  — напряжённость магнитного поля в вакууме при магнитной индукции в 1 Гаусс ( $1 \text{ Гаусс} = 100 \text{ мкТл}$ ) [1, 2].

В данной работе используется МТП в режиме спинтронного осциллятора (СТО) для регистрации магнитного поля (рис. 1). Внешнее МП изменяет частоту МТП СТО. Через МТП СТО по цепи смещения (ЦС) проходит постоянный ток  $I_0$ , в результате чего, в МТП СТО образуется СВЧ сигнал с амплитудой  $I_{\text{свч}}$  (обычно в полосе частот примерно от 100 МГц до 8 ГГц), частота которого зависит от величины МП, в котором находится датчик. Полученный СВЧ сигнал отделяется от постоянной составляющей в ЦС, усиливается малощумящим усилителем (МШУ) и поступает в преобразователь частоты в напряжение (ПЧН) — частотный детектор, на выходе которого образуется среднеквадратическое напряжение  $E_{\text{вых}}$  пропорциональное величине напряженности МП.

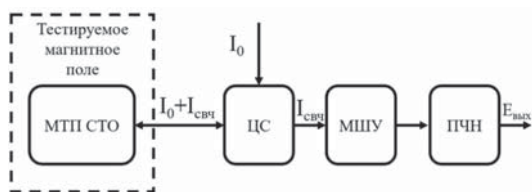


Рис. 1. Магнитометр на основе магнитного туннельного перехода

### Литература

1. **An Inductorless** Wideband Balun-LNA for Spin Torque Oscillator-based Field Sensing. Conference / T. Chen [et al.]. — 21st IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), 2014.
2. **Nanoscale** magnetic field detection using a spin torque oscillator / P. Braganca [et al.] // IOP Science, 2010, — Vol. 13 — № 235202. — P. 1–6.



Ю. А. Гришина, студ.; рук. С. А. Чеченя, асс. (НИУ «МЭИ»)

## МАГНИТОМЕТРЫ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

Визуализация электрической активности человеческого мозга с помощью методов магнитоэнцефалографии (МЭГ, Magnetoencephalography, MEG,) обычно требует, чтобы голова человека оставалась неподвижной относительно МЭГ-сканера. Когнитивные исследования являются неполноценными и не раскрывают полностью достоинства МЭГ, так как голова человека находится в ограниченном сканером пространстве. Еще одним недостатком современных МЭГ-сканеров является обязательное охлаждение сверхпроводящих квантовых интерферометров СКВИД (от англ. SQUID, Superconducting Quantum Interference Device) до криогенных температур. Поэтому ведется разработка новой системы МЭГ, которую можно будет носить как шлем, позволяя свободное и естественное движение во время сканирования [1].

В основе такой системы лежат некриогенные квантовые датчики магнитного поля: магнитометры с оптической накачкой МОН (в англоязычной литературе: Optically Pumped Magnetometer, OPM) [2]. Датчики устанавливаются на расстоянии в нескольких миллиметрах от кожи головы человека, выдавая выходной сигнал, пропорциональный тангенциальной составляющей магнитного поля мозга человека и перпендикулярный лазерному лучу внутри датчика. Выходы датчиков оцифровываются с частотой дискретизации 1000 Гц для сбора данных и для дальнейшей цифровой обработки.

В докладе представлен обзор литературы по перспективной технологии МОН-СКВИД для измерения слабых магнитных полей при помощи полупроводниковых лазеров с оптической накачкой. Выявлены отличия изделий класса МОН-СКВИД от ранее известных интерферометров СКВИД, проведено моделирование динамики процессов в одиночном магнитометре и процессов формирования полезного сигнала на выходе прибора.

Описано, что благодаря использованию магнитометров с оптической накачкой возможно измерение вблизи человеческой головы сверхмалых магнитных полей на уровне порядка десятков фемтотесла без необходимости применять криогенное охлаждение.

### Литература

1. **Moving** magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system / E. Boto [et al.] // *Nature*. — 2018. — Vol. 555. — P. 657–661.
2. **Optically** pumped magnetometers: From quantum origins to multi-channel magnetoencephalography / M. Tierney [et al.] // *NeuroImage*. — 2019. — Vol. 199. — P. 598–608.

**Секция 3**  
**УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ**  
**Radio signal processing devices**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Гребенко Юрий Александрович*

*Секретарь секции: Филатов Виктор Александрович*

*А. А. Новожилова, студ.; рук. М. Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛА С ФАЗОВО-КОДОВОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ**

В докладе рассматривается задача моделирования алгоритма цифровой обработки информационных радиосигналов с двоичной фазово-кодовой манипуляцией.

В соответствии с заданным алгоритмом обработка сигнала производится в несколько этапов. Первой процедурой является фильтрация сигнала цифровым полосовым фильтром [1]. Цифровой фильтр имеет параллельную структуру и состоит из шести рекурсивных звеньев второго порядка и ветви прямой передачи.

Следующее действие — формирование комплексной огибающей. Формирование цифровой комплексной огибающей сигнала промежуточной частоты основано на совмещённой процедуре синтеза квадратурного сигнала и цифрового преобразования частоты комплексного аналитического сигнала. Перенос спектра комплексного сигнала на нулевую частоту производится путём умножения отсчётов комплексного сигнала на последовательность отсчётов цифрового комплексного гармонического колебания.

Далее для улучшения отношения сигнал/шум и понижения частоты дискретизации производится накопление и децимация отсчётов комплексной огибающей. В результате этого количество отсчётов в одном символе уменьшается.

Затем комплексная огибающая поступает на демодулятор. При первичной демодуляции происходит обнаружение сигнала и определение его начала. При второй демодуляции с помощью сравнения отсчётов, сформированных на этапе первичной демодуляции, с пороговым значением формируется демодулированная кодовая последовательность.

Исследование проводится на основе разработанных в среде MathCAD [2] и C++ [3] моделей обработки информационных сигналов. При действии смеси модулированного сигнала с шумом проводится сопоставление с результатами моделирования, полученными при отсутствии шума. Результаты моделирования подтверждают правильность алгоритма демодуляции сигнала.

### **Литература**

1. **Коберниченко В. Г.** Основы цифровой обработки сигналов: учебное пособие для студентов вузов. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018.
2. **Самоучитель** работы с универсальной математической системой MathCAD / Сост. С. И. Калмыкова — Волгоград: Волггр. гос. с.-х. акад., 2006.
3. **Шилдт Г.** C++ для начинающих. Шаг за шагом. — М.: Знание, 2013.

*А. М. Трунин, асп.; рук-ли А. Н. Рагозин, к.т.н., доц.;  
С. Н. Даровских, д.т.н., доц. (НИУ ЮУрГУ, Челябинск)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТИПА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ**

Современная промышленность, химически опасные или взрывоопасные производства используют большой спектр газо-анализаторных приборов. В большинстве случаев такие приборы измеряют концентрацию газа в окружающем пространстве, но не позволяют определить тип измеряемого газа. Таким образом, актуальна задача определения типа газа по характеру изменения параметров сигналов газовых датчиков.

Одним из методов обработки сигнальной информации является статистический анализ изменения электрофизических свойств чувствительного слоя полупроводникового прибора [1].

Для решения задачи оценки концентрации и определения типа газа предлагается применять нейронную сеть специальной архитектуры с конкурентным слоем.

В работе приведены результаты моделирования процесса идентификации горючего вещества с использованием нейронной сети прямого распространения и проведено ее обучение. Проверка качества работы нейронной сети осуществляется при помощи смоделированного комплексного сигнала, несущего в себе информацию о различных типах и концентрациях горючих веществ.

Сигнал с газового датчика приводится к стандартному виду путем его нормирования. Далее задается аналитический сигнал, отражающий зависимость изменения сопротивления датчика от концентрации горючего вещества в воздухе. Нейронная сеть обучается на реальном сигнале, в соответствие которому ставится аналитический, меняя свои весовые коэффициенты до тех пор, пока ошибка не станет минимальной.

Анализ полученных результатов показывает, что применение нейронной сети специальной архитектуры с конкурентным слоем позволяет эффективно определять тип горючего вещества и его концентрацию.

### **Литература**

1. **Обвинцева Л. А.** Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // РХЖ. 2008. Т. 52. № 2.

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

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИДАРА БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ**

Использование лазерного излучения для измерения расстояний имеет ряд преимуществ по сравнению с радио и ультразвуковыми волновыми процессами. Среди них острая диаграмма направленности и высокая точность измерения. Прогресс в миниатюризации полупроводниковых лазеров и приёмников излучения привёл к появлению интегрированных решений, размещённых на одном кристалле. Производство таких компактных и бюджетных датчиков делает их доступными для разнообразных применений.

Для проведения экспериментальных исследований инфракрасного интегрального лидара ближнего действия, отработки алгоритмов программного обеспечения на микроконтроллере и определения параметров измерения по дальности и точности создан экспериментальный макет.

В докладе представлен результат разработки макетного образца лидара ближнего действия, выполненного на основе микросхемы датчика VL53L3CX [1] компании STМ с интегрированным маломощным и безопасным инфракрасным лазером 1 класса с длиной волны 940 нм. Датчик основан на импульсной технологии измерения времени прохождения света до отражающего объекта и обратно в диапазоне расстояний от 2,5 см до 3 м. Микросхема датчика с элементами питания и коммутации размещена на разработанной двухслойной печатной плате, сопрягаемой с микроконтроллером. Для управления датчиком, постобработки его данных и отображения результатов измерения расстояния используется 32-х разрядный микроконтроллер STM32 на отладочной плате STM32F429I\_DISCO KIT.

Приведены результаты экспериментального исследования характеристик точности и дальности изготовленного макетного образца лидара при различных условиях измерения расстояния до объекта.

### **Литература**

1. VL53L3CX Time-of-Flight (ToF) ranging sensor with multi target detection. [Электронный ресурс]. <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l3cx.html#documentation>

*Пью Аунг Чжо, асп.; рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕМ НА БАЗЕ БАНКОВ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ**

Известны фильтровые системы передачи данных на базе вещественных фильтров [1]. В докладе приводятся результаты разработки и реализации на микроконтроллере алгоритмов квадратурной амплитудной модуляции и демодуляции на базе банков цифровых комплексных полосовых КИХ-фильтров. Комплексные КИХ-фильтры рассчитываются с помощью метода разложения в ряд Фурье, реализованного в виде шаблона в среде Mathcad. Для расчета комплексных КИХ-фильтров целесообразно использовать метод комплексной задержки. В этом случае имеется возможность организовать перестройку центральной частоты комплексного полосового фильтра без изменения формы частотной характеристики. Используемые цифровые КИХ-фильтры имеют линейную фазочастотную характеристику и, соответственно, симметричную импульсную характеристику. Если в качестве несущего сигнала использовать импульсную характеристику, то в качестве согласованного фильтра можно использовать цифровой комплексный КИХ-фильтр, аналогичный фильтру в модуляторе. Предлагаются структурная схема и алгоритм функционирования многоканальной системы передачи данных.

Банк цифровых комплексных полосовых КИХ-фильтров содержит цифровые КИХ-фильтры с одинаковой структурной схемой. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов.

Излагаются результаты моделирования системы передачи данных в среде MicroCap.

Приводятся алгоритмы реализации модулятора и демодулятора на микроконтроллерах и результаты экспериментального исследования макета, реализованного на двух отладочных платах,

### **Литература**

1. Балашов В. А., Воробийченко П. П., Ляховецкий Л. М. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами. — М.: Эко-Трендз, 2012.

*Пью Аунг Чжо, асп.; Найнг Лин Хтет, студ.;  
рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ БАНКОВ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ БЕССЕЛЯ**

Известны фильтровые системы передачи данных на базе вещественных фильтров [1]. В докладе приводятся результаты разработки и реализации на микроконтроллере алгоритмов модуляции и демодуляции на базе банков цифровых комплексных полосовых фильтров Бесселя. Фильтры Бесселя имеют близкую к линейной фазочастотную характеристику и, соответственно, симметричную импульсную характеристику. Если в качестве несущих сигналов использовать вещественную и мнимую составляющие импульсной характеристики, то в качестве согласованного фильтра можно использовать такой же рекурсивный комплексный фильтр Бесселя как в модуляторе. Рассматривается процедура расчёта цифрового комплексного полосового фильтра с НЧ-прототипом Бесселя 4-го порядка [2]. С помощью системотехнического моделирования определяется АЧХ и импульсная характеристика рассчитанного фильтра. Использование банка комплексных полосовых фильтров Бесселя позволяет получить симметричные ортогональные несущие сигналы с неперекрывающимися спектрами.

Банк комплексных фильтров содержит цифровые фильтры с одинаковой структурной схемой. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов.

Приводятся результаты моделирования системы передачи данных с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ-16) в среде MicroCap.

Приводятся алгоритмы реализации такой системы передачи данных на микроконтроллере и экспериментальные результаты измерений с помощью макета, реализованного на двух отладочных платах.

### **Литература**

1. **Балашов В. А., Воробиенко П. П., Ляховецкий Л. М.** Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами. — М.: Эко-Трендз, 2012.
2. **Гребенко Ю. А.** Однородные устройства обработки сигналов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

Ян Лин Пайнг, асп.; Ту Мьят Каун, студ.;  
рук. Ю. А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПАИС МОДУЛЯТОРА НА БАЗЕ БАНКА КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ БЕССЕЛЯ

В докладе рассматриваются результаты разработки и реализации КАМ-модулятора на базе банков комплексных полосовых аналоговых фильтров Бесселя на ПАИС. Рассчитываются и реализуются с использованием САПР AnadigmDesigner2 комплексные полосовые аналоговые фильтры в виде микросхем на ПАИС [1]. С помощью банка таких фильтров, формируются ортогональные сигналы, которые содержат цифровые данные. На рис. 1 приведена модель полосового фильтра Бесселя на ПАИС для одного канала, составленная с использованием САПР AnadigmDesigner2.

Для одного канала модулятора необходима одна микросхема. Работа одного канала модулятора моделировалась в среде MicroCap и в САПР AnadigmDesigner2. Приводятся результаты моделирования.

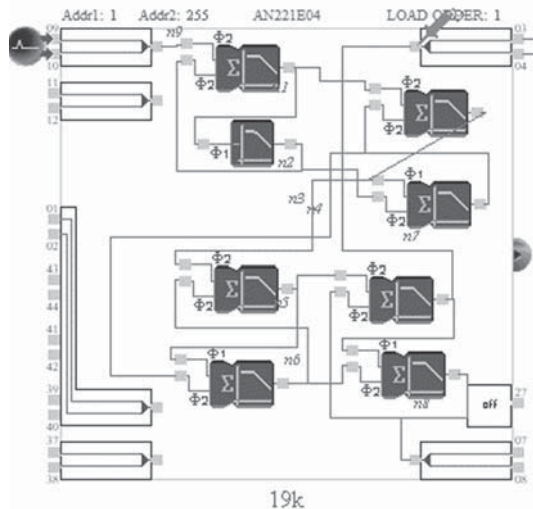


Рис. 1. Модель полосового фильтра с НЧ-прототипом Бесселя четвертого поряд-ка на ПАИС

### Литература

1. Гребенко Ю. А., Аунг Ко Мин. Проектирование комплексных полосовых фильтров на базе программируемых аналоговых интегральных схем // Электросвязь. 2020. № 8.



*Н. С. Хокшанов, студ.; рук. О. В. Стукач, д.т.н., проф. (НИУ ВШЭ)*

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОТОНОВ**

В настоящее время существует большое количество комплексов, отслеживающих радиационную обстановку в околоземном космическом пространстве. Среди них есть и отечественные разработки, в частности, семейство автоматизированных космических аппаратов «Метеор-М». На борту данного аппарата был установлен спектрометр корпускулярного излучения фотонов [1], предназначенный для измерения дифференциальных энергетических спектров низкоэнергетических фотонов и протонов в различных энергетических интервалах. Однако от поколения к поколению спектрометр корпускулярного излучения постоянно улучшался, а в след за ним и его периферия, в связи с чем возникла необходимость разработки нового устройства первичной обработки информации.

Данное устройство осуществляет непрерывный подсчёт импульсов от отдельных измерительных каналов прибора и раз в секунду перебрасывает собранную информацию в блок накопления данных космического аппарата, с которого далее передаётся на Землю.

В докладе приводится архитектура построения необходимого устройства на базе ПЛИС [2]. Первым этапом ставится разработка алгоритма формирования выходного сигнала, далее необходимо спроектировать электрические схемы. После чего производится моделирование работы устройства, а затем подбираются ЭРИ для реализации макета. В конечном счёте остаётся сборка, тестирование и, в случае необходимости, отладка прототипа.

На основании проведённого анализа была выбрана микросхема XQ4013XL-3CB228M компании Xilinx. Данная микросхема требует для своей работы источник питающего напряжения: + 3,3 В; обладает компактными габаритами 120x80 мм, а малая потребляемая мощность — до десятых долей Вт, — снимает все проблемы теплоотвода и энергопотребления.

Результатом данной работы являются: прошивка ПЛИС, выполненная в графическом САПР Xilinx WebPack, принципиальная электрическая схема и габаритные чертежи устройства.

### **Литература**

1. **Герцелев И. В. и др.** Аппаратура мониторинга радиационной обстановки на борту КА // Тез. докл. 10-й Междунар. конф. «Системный анализ, управление и навигация». Крым. Евпатория. 2005.
2. **Угрюмов Е. П.** Цифровая схемотехника: учебное пособие для вузов — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010.

*А. И. Ковров, студ.; рук. А. В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕКОНФИГУРАЦИЕЙ ПАИС**

Программируемые аналоговые интегральные схемы (ПАИС) предоставляют уникальные возможности для реализации динамического переконfigurирования микросхемы как полностью, так и частично на параметрическом уровне [1]. Необходимость мгновенно перестраивать параметры в работающем устройстве без разрыва выходного сигнала определяет задачу построения соответствующего технического средства.

В докладе представлено решение этой задачи. Требуемое устройство реализовано с использованием ПАИС типа AN231E04/AN221E04 компании Anadigm, EEPROM 25LC128 и управляющего микроконтроллера PIC18F25K20. В качестве примера оно осуществляет перестройку центральной частоты аналогового полосового фильтра, построенного на базе ПАИС.

В рассматриваемом устройстве реализован управляющий метод для динамического реконfigurирования ПАИС [1], при котором используются предварительно сконfigurированные данные. Хранение, передача конфигураций и управление ПАИС осуществляются с помощью микроконтроллера по последовательной шине SPI.

Конфигурационные данные хранятся в конфигурационном ОЗУ. Помимо его ПАИС содержит специальное тенеовое ОЗУ, в которое записываются данные новой конфигурации. С приходом очередного такта синхронизации эти данные записываются в конфигурационное ОЗУ, что приводит к мгновенному обновлению внутренней структуры или параметров схемы. Время реконfigurирования может составлять величину менее 50 нс (один такт синхронизации) [2].

Написание и отладка программного обеспечения для микроконтроллера выполнены в среде программирования MPLAB X IDE. Для разработки проектов на ПАИС использована универсальная среда AnadigmDesigner2.

Разработан и изготовлен образец требуемого устройства в макетном исполнении.

### **Литература**

1. **Щерба А.** Динамическое программирование аналоговых схем Anadigm управляющим методом // Компоненты и технологии. 2010. № 12.
2. **Спецификация** [Электронный ресурс]. URL: [https://www.anadigm.com/\\_doc/UM021200-U007.pdf](https://www.anadigm.com/_doc/UM021200-U007.pdf)

*П. А. Астафьев, асп.; рук. Л. А. Резниченко, д.ф.-м.н., проф.  
(ЮФУ, Ростов-на-Дону)*

## **ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПРИОРИТЕТОВ В МНОГОПОТОЧНОМ ПРОГРАММНОМ ПРОЦЕССОРЕ С РАЗВЕТВЛЕННОЙ КЭШ-ПАМЯТЬЮ**

В современных радиолокационных системах требуется применять комбинирование видов модуляции радиосигналов в одном устройстве, выполнять непрерывную высокоскоростную цифровую обработку в нескольких параллельных потоках. Это приводит к необходимости частого обращения к памяти, и применения высокоскоростных алгоритмов обработки и передачи данных. Современные аппаратные и программные процессоры общего назначения в комбинации с ASIC или FPGA способны выполнять вышепоставленные требования, но имеют высокое суммарное энергопотребление и стоимость. Для космических применений, где системы, зачастую, имеют ограничения по производительности, наиболее перспективным решением является разработка процессора, размещенного на одном кристалле, с разветвленной системой приоритетов, с многопоточной обработкой команд-данных, при использовании минимально возможного количества выделенной памяти.

Рассмотрены методы выборки приоритетных каналов передачи данных в специализированных процессорах и процессорах общего назначения. Разработана система приоритетов с множественными входными потоками данных и команд и одним выходом на базе разработанной ранее архитектуры с протокольной адресацией [1]. Процессор на базе архитектуры с протокольной адресацией протестирован в реальных устройствах (FPGA Xilinx Virtex-6, Virtex-2). Подтверждена возможность работы системы в непрерывном режиме приема-передачи команд-данных. Выявлены основные скоростные ограничения работы системы.

Результаты исследования найдут применение в наземных и бортовых радиолокационных комплексах, а также системах управления высокоскоростной обработки информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание в области научной деятельности, Южный федеральный университет, 2020 г.).

### **Литература**

1. **Астафьев П. А.** Разработка архитектуры цифрового сигнального процессора с протокольной адресацией // Сб-к тез. докл. XVI Ежегодной молодежной научной конференции «ЮГ РОССИИ: ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ, ОТКРЫТИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ» Ростов-на-Дону.: ЮНЦ РАН, 2020. Т. 2.

*И. И. Младенович, студ.; рук. А. В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ИМПЕДАНСНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОЖНЫХ ПОКРОВОВ ЧЕЛОВЕКА**

Кожные покровы человека являются проводником электрического тока и поэтому могут характеризоваться электрическими параметрами. При этом электрические параметры кожи позволяют получить важную информацию о жизнедеятельности организма, о его состоянии, о многих процессах и явлениях, протекающих как на поверхности кожи, так и внутри неё.

Известны различные методы оценки состояния кожи [1]. В данной работе используется импедансный метод, который оценивает степень влажности кожного покрова человека. Он основан на взаимосвязи состояния кожи и её электрического сопротивления и ёмкости.

Импедансный метод предполагает в качестве модели кожи электрическую схему замещения, содержащую параллельное соединение резистора и конденсатора (RC-цепь). В докладе представлен способ измерения параметров схемы замещения с помощью коммутируемого источника тока. Этот способ позволяет получить в установившемся режиме оценку активного сопротивления, а по переходной характеристике измерить постоянную времени RC-цепи. По полученным данным производится вычисление искомой ёмкости.

Такой способ измерения импеданса реализован в разработанном макетном образце устройства на основе микроконтроллера PIC24FV16KA301 [2]. Использование аппаратных ресурсов микроконтроллера (CTMU, ADC) позволяет существенно упростить схемотехническую реализацию устройства.

Программное обеспечение устройства разработано в среде программирования MPLAB X IDE на языке Си. Отладка программного обеспечения произведена с помощью программатора PICKit3.

### **Литература**

1. Эрнандес Е. И., Губанова Е. И., Парсагашвили Е. З., и др. Методы эстетической медицины в косметологии. М.: ИД «Косметика и медицина». 2010.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30009995e.pdf>

*А. А. Гушин, И. И. Трифонов, студенты; рук-ли В. А. Федоров, доц.;  
А. В. Шукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОТ РАДАРА В ИНТЕГРАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ**

Применение современных радаров в интегральном исполнении сопряжено с необходимостью разработки соответствующих им периферийных устройств цифровой обработки отражённых сигналов.

В работе в качестве радара используется микросхема A111 шведского производителя Assoneer, представляющая собой импульсно-когерентный радиолокатор с центральной частотой 60,5 ГГц, изготовленный по технологии SiGe BiCMOS [1].

В докладе представлены результаты разработки устройства первичной обработки данных, сопрягаемого с этой микросхемой. Изготовлен образец в макетном исполнении, который состоит из двух узлов: платы микроконтроллера с интерфейсом связи с ПК и платы радиолокатора. В качестве микроконтроллера используется микросхема STM32L476VGT6.

Для ускорения написания проекта, облегчения работы с памятью и регистровой картой используются высокоуровневые библиотеки SPL (standard peripheral library) и LL (low-level), содержащие функции-обертки для настройки портов и организации дуплексного режима передачи данных между микроконтроллером и радиолокатором.

При написании кода используются header-файлы, предоставляемые компанией Assoneer, содержащие в себе прототипы функций, обеспечивающих арбитраж при передаче данных и синхронизацию посредством флагов передачи и мьютексов [2].

На основе информации, полученной от микроконтроллера, производится обработка и анализ потока данных, с применением цифровой фильтрации сигнала. Организовано взаимодействие ПК и микроконтроллера через интерфейс USB. Для фильтрации используются цифровые фильтры, написанные с использованием математических библиотек SciPy и NumPy и языка высокого уровня Python [3]. Написаны программы для обработки и хранения экспериментальных данных.

Проведённые эксперименты подтвердили работоспособность разработанного устройства.

### **Литература**

1. [Электронный ресурс]. URL: [developer.assoneer.com/download/a111-datasheet-pdf/](http://developer.assoneer.com/download/a111-datasheet-pdf/)
2. **Уильямс Э.** Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки многопоточных программ. М.: ДМК Пресс, 2012.
3. **Аллен Дауни Б.** Цифровая обработка сигналов на языке Python. М.: ДМК Пресс, 2017.

**Секция 4**  
**АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА**  
**И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**  
**Antennas and propagation**

---

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

*Секретарь секции: Малевич Елена Сергеевна*

*Е. Д. Зонова, студ.; рук. М. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ ФИЛЬТРА НА МИКРОПОЛОСКАХ

В настоящее время различные радиотехнические системы работают в СВЧ диапазоне. Для уменьшения габаритов и веса изделий используется их микрополосковое исполнение. Одним из таких изделий является фильтр, используемый для подавления нежелательных частотных составляющих в составе спектра сигнала.

Данная работа посвящена созданию схемы двухдиапазонного СВЧ фильтра. Для достижения заданных требований используются два независимых друг от друга фильтра, сигнал на которые подается через делитель мощности. И затем на выходе суммируются сигналы с каждого фильтра.

Настройка полос пропускания:

	Фильтр 1	Фильтр 2
Верхняя частота пропускания, $f_{п2}$	2.3 ГГц	2.9 ГГц
Нижняя частота пропускания, $f_{п1}$	2.2 ГГц	2.8 ГГц
Ослабление на частотах задерживания	40 дБ	40 дБ

Микрополосковые технологии нашли широкое применение в различных областях радиотехники: в мобильных и бортовых средствах радиосвязи, в радиолокации и радионавигации. В связи с этим им уделяется всё больше внимания последнее время.

В работе приведены результаты сравнения моделирования работы фильтров СВЧ низкочастотными инженерными методиками и в программах электродинамического моделирования.

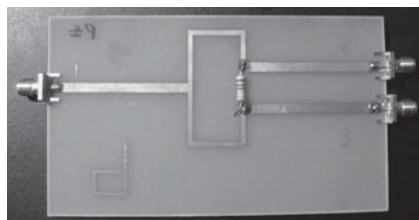


Рис. 1. Пример реализации микрополосковых СВЧ фильтров и делителя мощности

### Литература

1. **Фуско В.** СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: пер. с английского языка. Москва, «Радио и связь», 1990. — 288 с.
2. **Сазонов Д. М.** Антенны и устройства СВЧ: учебник для радиотехнических спец. вузов. Москва, «Высшая школа», 1988. — 432 с.
3. **Hong Jia-Sheng** Microstrip filter for RF/microwave applications — 2<sup>nd</sup> ed., 2011. — 658p.

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭПР ОБЪЕКТОВ**

Определение свойств различных объектов с помощью облучения их электромагнитной волной лежит в основах радиолокации. Энергия падающей на объект волны рассеивается во всех направлениях. Излучение, происходящее вследствие рассеяния энергии электромагнитной волны объектами называется вторичным. Для количественной оценки интенсивности вторичного излучения объекта используется понятие эффективной площади рассеяния (ЭПР).

Определение ЭПР принято формулировать следующим образом: это площадь некоторой фиктивной плоской поверхности, расположенной нормально к направлению падающей плоской волны и являющейся идеальным изотропным переизлучателем, которая будучи помещена в точку цели, создает у РЛС ту же плотность потока мощности, что и реальная цель.

ЭПР цели существенно зависит от ориентации объекта относительно направления на РЛС. Зависимость величины ЭПР от угла поворота объекта относительно направления на РЛС называется диаграммой обратного рассеяния (ДОР).

Расчет эффективной площади рассеяния может производиться в трех областях, которые зависят от длины волны и размеров объекта. Первая область — длинноволновая. В этой области размера объекта малы по сравнению с длиной волны. Вторая область — резонансная. В этой области размеры объекта сопоставимы с длиной волны. Третья область — коротковолновая. В этой области размеры объекта превышают длину волны.

Цель работы заключается в математическом расчете и электродинамическом моделировании ЭПР объектов, сравнении полученных результатов и создании программы для расчета и отображения ДОР, а также в построении зависимостей ЭПР от отношения размера объекта к длине волны для различных объектов.

### **Литература**

1. **Баскаков А. И., Жутяева Т. С.** Локационные методы исследования объектов и сред. М.: Академия, 2011.
2. **Кобак В. О.** Радиолокационные отражатели. М.: «Сов. радио», 1975.
3. **Львова Л. А.** Радиолокационная заметность летательных аппаратов. — Снежинск: Изд-во РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003.

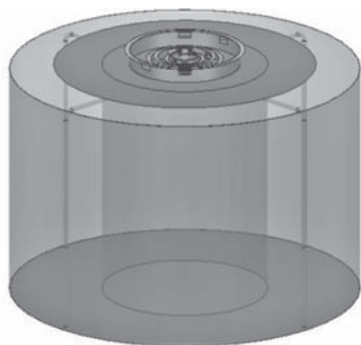


*В. Д. Угничев, студ.; рук. Б. Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОЧАСТОТНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Многочастотные облучатели имеют множество плюсов, в том числе — позволяют рациональнее использовать зеркальную антенну в условиях пространственных ограничений.

В данной работе рассматриваются процедура проектирования облучателя зеркальной антенны такого класса, важнейшие характеристики, которые необходимо учитывать при оптимизации облучателей. Представляется программа оптимизации облучателей данного класса, выполненная на базе объединения программного пакета *Matlab* и сред электродинамического моделирования *Ansys HFSS* и *CST*, учитывающая геометрию и важные радиотехнические характеристики облучателей (форму и ширину диаграммы направленности, поляризационные характеристики и коэффициент использования поверхности [1]).



**Рис. 1.** Модель изготовленного многочастотного облучателя

В качестве примера такого облучателя рассматривается изготовленный макет облучателя метрового и дециметрового диапазонов, объединяющий облучатель метрового диапазона с коаксиальной структурой и вибраторным возбуждением [2] и модернизированный облучатель дециметрового диапазона, рассмотренный в [3].

### Литература

1. **Коган Б. Л.** Поляризационные характеристики антенн: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 42 с.
2. **V. D. Ugnichev, B. L. Kogan, I. V. Belkovich, V. N. Seleznyov,** “Multi-band Reflector Antenna Feed Design Based on Coaxial Structure,” 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059239.
3. **Селезнев В. Н., Белькович И. В., Коган Б. Л.** Расчет и моделирование облучающего устройства для наземных антенн, входящих в состав комплексов системы «Коспас-Сарсат» // Антенны. 2015. № 9 (220) С. 23–26.

*Н. А. Якушкин, В. Д. Угничев, студ.;*  
*рук. Б. Л. Коган, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИНТЕЗ РУПОРНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИММЕТРИЧНЫХ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ**

При проектировании зеркальных антенных систем с высокими техническими характеристиками, а особенно в случаях, когда имеется требование обеспечения заданного уровня боковых лепестков появляется необходимость реализации специального амплитудно-фазового распределения в апертуре главного зеркала. В связи с этим актуальна проблема синтеза эффективного облучателя с наперед заданной диаграммой направленности, способной обеспечить такое распределение.

В данной работе рассматривается применение оптимизационных методов автоматизированного проектирования рупорных облучателей различных типов (гофрированный, choke-рупор и др.), формирующих осесимметричную диаграмму направленности. Определен наиболее подходящий алгоритм оптимизации для каждого вида рупора. В частности, рассмотрен вопрос применения алгоритмов квазислучайного поиска для оптимизации рупоров с большим числом геометрических параметров [1].

Синтез облучателей осуществляется с позиции максимизации коэффициента использования поверхности зеркальной антенны [2]. Данный параметр учитывает форму и ширину диаграммы направленности, поляризационные характеристики, переливание мощности. Значение данного коэффициента позволяет делать вывод об оптимальности синтезированного рупора с достаточно высокой точностью.

Алгоритм синтеза реализован в программном пакете Matlab и объединен со средой электродинамического моделирования  $\mu$ Wave Wizard, что дает возможность применять встроенные алгоритмы оптимизации Matlab совместно с электродинамическим расчетом методом моментов и значительно ускоряет процедуру проектирования.

Облучатели, разработанные на основе данного метода, имеют высокую эффективность и могут найти применение в современных антенных системах. Возможность задавать различные амплитудно-фазовые распределения позволяет синтезировать рупорные облучатели для антенн со стандартными или модифицированными профилями зеркал.

### **Литература**

1. **Constantine A. Balanis.** Modern Antenna Handbook. Wiley-Interscience, USA, 2008.
2. **Коган Б. Л.** Поляризационные характеристики антенн: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 42 с.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТОПОЛОГИЙ PATCH-АНТЕНН S-ДИАПАЗОНА**

В настоящее время ведется активная разработка печатных антенн и их изготовление. Это связано в первую очередь с простотой их моделирования и изготовления. Их актуальность связана с малыми размерами самой антенны, так как чаще всего их используют на космических аппаратах, где остро стоит вопрос с габаритами.

Многим специалистам, работающим в данной области, известно, что главным критерием при разработке patch-антенны является выбор диэлектрической подложки. Выбор диэлектрика напрямую связан с габаритами конечного устройства, так как величина относительной диэлектрической проницаемости напрямую связана с размерами излучающего элемента.

В своей работе, я хотел рассмотреть влияние на размеры и характеристики patch-антенны, не только диэлектрической подложки, но и топологии излучающего элемента. Основные виды топологий таких излучающих элементов представлены в [1].

Основная идея работы заключается в том, чтобы промоделировать 3 антенны, работающие на одной частоте и изготовленные на одинаковом диэлектрике, при этом отличные друг от друга топологией излучающего элемента. После моделирования оценить различия в их характеристиках, таких как: КСВ, ДН, коэффициент усиления, широкополосность.

Работа необходима для создания антенной решетки, работающей над земной поверхностью [4, 5].

### **Литература**

1. **Б. А. Панченко, Е. И. Нефёдов.** Микроразветвленные антенны. М.: Радио и связь, 1986. — 144 с.: ил.
2. **K. L. Wong** Compact and broadband microstrip antennas // NY. John Wiley & Sons. 2002, pp.
3. **Д. М. Сазонов.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.: ил.
4. **В. А. Сазонов, М. С. Михайлов.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.
5. **М. С. Михайлов, В. А. Пермяков, Д. М. Сазонов.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель) // Журнал Радиоэлектроники, 2014, № 12 С. 5

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Независимо от реализованного варианта, компактность антенной решетки является преимуществом как для наземных комплексов [1, 2], так и для антенн бортового базирования. Однако компактная антенная решетка может иметь уменьшенную эффективную площадь излучения из-за взаимного влияния между соседними антеннами. Среди часто используемых методов синтеза многоэлементных неэквилидистантных антенных решеток [3] с критерием оптимизации по минимальному уровню боковых лепестков диаграммы направленности (УБЛ), предлагается рассмотреть и сравнить генетический алгоритм (рис. 1), метод роя частиц и метод дифференциальной эволюции.

Ключевым отличием синтеза неперидических антенных решеток путем оптимального выбора вектора  $\vec{i}$ ; отличающую их от синтеза апертурным методом путем нахождения оптимального амплитудно-фазового распределения возбуждающих токов, заключается в том, что при подборе вектора  $\vec{i}$  коэффициент направленного действия  $G=|f(z)|^2/P_{\Sigma}$  и коэффициент реактивности  $\gamma=P_{\Pi}/P_{\Sigma}$  синтезируемых систем изменяются пропорционально в отличие от систем, синтезируемых методом оптимизации.



Рис. 1. Блок-схема генетического алгоритма синтеза неперидических антенных решеток

### Литература

1. Пермяков В. А., Михайлов М. С. Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.
2. Михайлов М. С., Пермяков В. А., Сазонов Д. М. Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель) // Журнал Радиоэлектроники, 2014, № 12, С. 5.
3. Пат. 2649043 РФ. Эквилидистантная решетка остронаправленных антенн / А. И. Баскаков, В. И. Гусевский, М. С. Михайлов, А. В. Клементьева; ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2016149410; заявл. 15.12.2016; опубл. 29.03.2018, Бюл. № 10, 7 с.

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

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ СТРУКТУР В ПОДПРОГРАММАХ ANSYS HFSS И CST MS

Частотно-избирательные свойства различных частотно-селективных структур (ЧСС) характеризуются коэффициентами отражения и прохождения, которые определяются через значения полей, прошедших сквозь ЧСС или отраженных от неё. С помощью программ HFSS и CST MWS был выполнен анализ падения плоской волны на границу раздела двух сред (вакуума и металла), а для моделирования структуры бесконечного размера с периодически повторяющимися фрагментами были использованы каналы Флоке [1]. В методе согласования мод, соответствующие базисные и тестовые функции, используются для нахождения неизвестных параметров, т. е. амплитуд наведенных поверхностных токов.

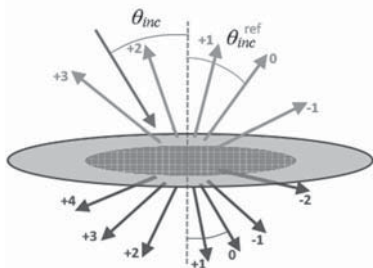


Рис. 1. Разделение падающей на ЧСС волны на набор дискретных пространственных гармоник

структурой, и в этом случае порт Флоке на обратной поверхности ЧСС играет роль полного поглотителя.

При расчете в HFSS в канале Флоке распространяются ТЕ и ТМ волны линейной поляризации. При этом высшие типы волн в Ка-диапазоне частот быстро затухают и слабо влияют на коэффициент передачи, поэтому учитывались лишь два высших типа волн [3]. Программа CST MWS предоставляет больше возможностей для решения данной задачи: в этой программе порты Флоке можно устанавливать, используя круговую поляризацию возбуждения электромагнитной волны, а также возможность установки портов в непосредственной близости над исследуемой диэлектрической

### Литература

1. Банков С. Е., Курушин А. А. Проектирование и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М., Солон-Пресс. 2005.
2. I. V. Belkovich, M. A. Dubovitskiy. Design and Analysis of Irregular Inductive Frequency Selective Surfaces for Beam-Waveguide Deep Space Antenna, 2020 International Workshop on Antenna Technology (iWAT), 2020, pp. 1–4.

А. Г. Хакимова, студ.; рук. Е. С. Малевич, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Прогнозирование уровней напряженности поля радиоволны в зоне обслуживания является важным этапом в разработке систем мобильной радиосвязи. Ещё в 1946–1950 гг. М. А. Леонтович и В. А. Фок разместили несколько трудов, в которых анализировали метод решения проблем по распространению радиоволн над поверхностью Земли с учетом дифракции, а также рефракции [1].

Методы численного моделирования позволяют решать задачи распространения радиоволн в таких неоднородных средах, как участки городской застройки и области внутри зданий.

Основой для проведения расчетов является трехмерная модель исследуемого пространства. В среде MATLAB был проведен численный расчет распространения радиоволн с помощью метода параболического уравнения с быстрым преобразованием Фурье [2]. Представленная дискретная модель была реализована в виде области городской среды, в которой здания задавались параллелепипедами. В модель был добавлен источник излучения, заданный распределением поля на раскрытии антенны, частоты для него взяты, исходя из типа мобильной связи 2G, 3G, LTE, 5G. Проведен анализ плотности потока мощности в условиях распространения радиоволн на частотах работы мобильной связи (рис. 1).

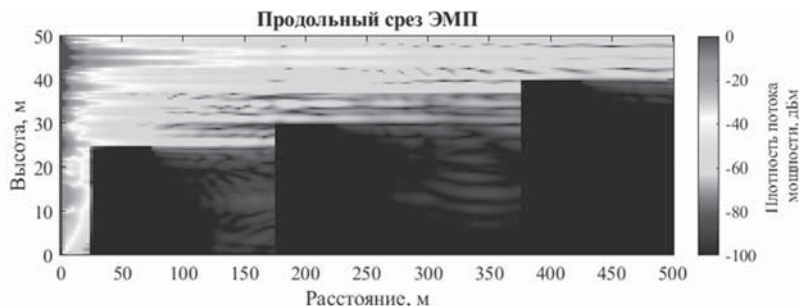


Рис. 1. Трехмерная картина распределения электромагнитного поля на частоте 5 ГГц (5G)

### Литература

1. М. А. Леонтович, В. А. Фок. Решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности Земли по методу параболического уравнения // ЖЭТФ, 16, 1946, № 7, стр. 557.
2. V. A. Permyakov, M. S. Mikhailov and E. S. Malevich. Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2167–2175.

*Н. А. Якушкин, студ.; рук. Б. Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ЛУЧЕВОДА, ОБЛУЧАЮЩЕГО ОСЕСИММЕТРИЧНУЮ ПАРАБОЛИЧЕСКУЮ ЗЕРКАЛЬНУЮ АНТЕННУ**

Выпускаемые промышленностью крупные зеркала антенных систем, работающих в миллиметровом диапазоне волн, изготавливаются из углепластика и имеют параболический профиль. Модификация таких профилей позволяет повысить эффективность их использования, однако на практике связана с рядом конструктивно-технологических трудностей, в следствии чего существенно возрастает стоимость изготовления. В связи с этим возникает задача синтеза несимметричного лучевода, эффективно облучающего симметричную параболическую антенну.

Из геометрической оптики известно, что оптимальной для облучения параболического зеркала является амплитудная диаграмма, которая в полярных координатах определяется выражением 1.

$$F(\varphi, \theta) = \begin{cases} \sec^2(\theta), & \text{при } \theta \in [-\theta_0; \theta_0] \\ 0, & \text{при } \theta \notin [-\theta_0; \theta_0] \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\theta_0$  — половинный угол раскрыва главного зеркала.

Синтез поверхностей лучеводной системы осуществляется из условия преобразования заданной диаграммы облучателя в оптимальную.

Б. Е. Кинбер предложил приближенный метод решения подобной задачи [1].

Б. С. Весткотт свел решение данной задачи к дифференциальному уравнению Монжа–Ампера [2]. Оно является интегрируемым, поэтому возможно получить строгое решение, однако при таком подходе для получения точных поверхностей зеркал лучеводной системы требуется значительная вычислительная мощность.

В работе предложен оптимизационный метод решения данной задачи, реализованный посредством объединения пакета программ Matlab и среды электродинамического расчета FEKO.

Применение лучеводных зеркал разработанных на основе данного метода позволит повысить энергетическую эффективность выпускаемых антенных систем, а также усовершенствовать существующие антенные системы без применения модификаций формы главного зеркала.

### **Литература**

1. **Кинбер Б. Е.** Обратные задачи теории зеркальных антенн — приближение геометрической оптики. — Препринт ИРЭ № 38 (410), М., 1984.
2. **Westcott B. S., Stevens F. A., Brickell F.** GO synthesis of offset dual reflectors. — IEE Proc., Vol. 128, Pt. H., No 1, February 1981.

*А. Д. Захарова, студ.; рук. Е. С. Малевич, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЛЕСНОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ**

Задача расчета распространения радиоволн в лесной среде востребована в современном мире для специалистов различных областей деятельности при проектировании линий связи, расчете покрытия мобильной связи и др. Известно, что особый класс задач представляют задачи прогнозирования распространения радиоволн над земной поверхностью, и для их решения необходимо составлять сложные математические модели, которые учитывают особенности среды распространения радиосигнала [1]. Существующие теоретические модели можно разделить на два типа: когда лес представлен сплошным слоем, и когда необходимо учитывать дискретность и неоднородность лесной среды [2, 3]. В данном докладе предлагается использовать первый тип модели лесной среды и решать задачу распространения электромагнитных волн методом геометрической оптики.

Метод геометрической оптики (ГО) — приближенный асимптотический метод вычисления волновых полей, опирающихся на лучевые представления, вдоль которых распространяется энергия волны. Он позволяет описывать слабое поглощение в среде, отражение и преломление на криволинейных границах раздела с помощью использования формулы Френеля. Минусом метода является учет наличия зон теней, в которых расчет поля невозможен, а значит, явление дифракции этот метод не учитывает. Из положительного можно отметить, что метод геометрической оптики позволяет оценить вклад каждой отдельной компоненты электромагнитного поля в суммарную характеристику, а это дает возможно исследовать влияние «боковой» волны на распространение радиоволн в рассматриваемой модели [4]. Так же метод ГО можно использовать в качестве эталонного, для сравнения полученных результатов с другими методами в зонах с отсутствием дифракционных эффектов.

### **Литература**

1. **M. S. Mikhailov, E. S. Malevich, V. A. Permyakov**, Modeling of Radio-wave Propagation in Forest by the Method of Parabolic Equation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.23) (2018) pp. 111–113.
2. **Агутов Е. Б.** Отражающие и ослабляющие свойства лесных сред в метровом диапазоне волн / Дисс. на соискание ученой степени к.ф.-м.н., Томск, 2009.
3. **M. S. Mikhailov, E. S. Malevich, and V. A. Permyakov**, Evaluation of the Impact of Deforestation on the Radio Wave Propagation Near the Large Antenna System in the Calculation of Sanitary Protection Zones. *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS — Toyama)*, Japan, 1–4 August, 2018.
4. **W. P. King, M. Owens, T. T. Wu**, “Lateral electromagnetic waves: theory and applications to communications, geophysical exploration, and remote sensing”, pp. 51–87, 1992.



*Н. В. Бахолдин, студ.;  
рук-ли М. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
А. К. Сарычев, д.ф.-м.н., гл.н.с. (ИТПЭ РАН, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМОННЫХ НАНОАНТЕНН**

Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света является мощным оптическим инструментом идентификации и исследования строения молекулярных соединений благодаря его высокой чувствительности. Спектроскопия ГКР позволяет идентифицировать даже минимальные концентрации химических веществ, вплоть до единичных молекул. Добиться эффекта поверхностного усиления сигнала комбинационного рассеяния (КР) света можно с использованием усиливающих подложек [1] на основе металлических нанорезонаторов (как правило, серебряных или золотых). Данные наномантенны можно представить как элементы некоей антенной решетки [2, 3].

В работе исследован спектр комбинационного рассеяния воды, имеющей простейшую молекулярную структуру, и нанесенную на разные поверхности, включая серебро. Спектр КР молекул воды хорошо известен, поэтому вода может служить индикатором усиления сигнала различными усиливающими поверхностями. Проведен анализ изменения спектра КР молекул воды в зависимости от типа поверхности, на которую она наносилась. Показано, что изменение спектра КР воды, нанесенной на разные поверхности, носит нетривиальный характер благодаря взаимодействию водородных связей с поверхностью.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-21-00080.

### **Литература**

1. **А. К. Сарычев, В. М. Шалаев.** «Электродинамика метаматериалов», 224 с. 2011 ISBN: 978-5-91522-226-6
2. **Пермяков В. А., Михайлов М. С.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.
3. **Михайлов М. С., Пермяков В. А., Сазонов Д. М.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель) // Журнал Радиоэлектроники, 2014, № 12. С. 5.

*С. Ю. Пашаев, асп.; рук. А. А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Для развития 5G в России необходимо выделить под эти цели диапазон частот 4.7–4.9 ГГц. Диапазон 4.8 ГГц  $\pm$  не является основным в мире. Базовым для развертывания 5G является диапазон 3.4–3.8 ГГц. Без 5G невозможны беспилотный транспорт, телемедицина и т. д. По мере роста нагрузки на существующие сотовые сети качество и скорость связи будут снижаться. В проекте решения ГКРЧ говорится, что операторы смогут строить сотовые сети 5G в диапазоне 24.25–24.5 ГГц только на отечественном оборудовании, внесенном в Единый реестр российской радиоэлектронной продукции. Диапазон не самый интересный с точки зрения операторов — в частности, потому, что работающие в нем базовые станции имеют крайне небольшой радиус действия. Но других частот для работы 5G в России пока не выделено.

Учитывая высокие системные требования к беспроводной связи пятого поколения (5G) и острую нехватку спектра на обычных частотах сотовой связи, многолучевые антенные системы (МАС) [1], работающие в миллиметровых диапазонах частот, вызвали большой исследовательский интерес. Они представляют собой антенные технологии для поддержки высокой скорости передачи данных, улучшенного отношения сигнал-помеха-шум, повышенной спектральной и энергетической эффективности, а также универсального формирования луча. Таким образом, МАС имеют большие перспективы в качестве критической инфраструктуры для обеспечения формирования луча и массивного мультиплексирования с несколькими выходами (MIMO), которые повышают производительность 5G.

### **Литература**

1. **W. Hong, K.-H. Baek, Y. Lee, Y. Kim, and S.-T. Ko**, “Study and rotootyping of practically large-scale mmWave antenna systems for 5G cellular devices,” *IEEE Commun. Mag.*, vol 52, no. 9, pp. 63–69, Sep. 2014.

*Н. В. Бахолдин, И. О. Михайлов, студенты;  
рук. М. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

Антенная решётка — сложная антенна, содержащая совокупность излучающих элементов (одиночных антенн или групп антенн), расположенных в пространстве в определенном порядке, ориентированных и возбуждаемых так, чтобы получить заданную диаграмму направленности [1]. Различают линейные, плоские и повторяющие контур или фигуры, или объекта крепления антенные решетки. Так же существуют не эквидистантные антенные решетки, один из способов реализации описан в [2]. Фазированные антенные решетки применяются в сканирующих системах [3, 4].

Цилиндрическая антенная решетка — пространственная фазированная антенная решетка, элементы которой размещены концентрически. Частным случаем данного типа антенных решеток являются кольцевые и дуговые решетки. Преимуществами данных антенных решеток являются: возможность широкоугольного сканирования в азимутальной и угломестной плоскостях, а также слабая взаимная связь излучателей по сравнению с другими типами (например: плоскими и линейными) из-за пространственного разворота осей излучателей.

В данной работе была смоделирована широкополосная цилиндрическая антенная решетка, в качестве излучателей которой выступают печатные антенны. Преимущество печатных антенн заключается в простоте их изготовления и малых массогабаритных параметрах.

### **Литература**

1. **Сазонов Д. М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. Для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. Шк., 1988. — 432 с.: ил.
2. Пат. 2649043 РФ. Эквидистантная решетка остронаправленных антенн / А. И. Баскаков, В. И. Гусевский, М. С. Михайлов, А. В. Клементьева; ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». — № 2016149410; заявл. 15.12.2016; опубл. 29.03.2018, Бюл. № 10. — 7 с.
3. **Пермяков В. А., Михайлов М. С.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.
4. **Михайлов М. С., Пермяков В. А., Сазонов Д. М.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель) // Журнал Радиоэлектроники, 2014, № 12. С. 5.

**Секция 5**  
**РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ**  
**Radarlocation and TV technologies**

---

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

*Секретарь секции: Рубан Анна Викторовна*

*С. А. Серов, студ., В. И. Ряшенцева, студ.;  
рук. А. А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

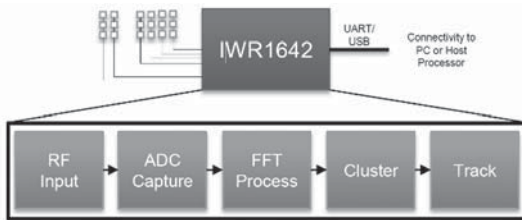
## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДАРА AWR1642 КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS, РАБОТАЮЩЕГО В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 76–81 ГГц, В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА**

В 2018 году компания Texas Instruments представила радар класса short range AWR1642, обладающий массой перспектив в различных отраслях промышленности, например, автомобильная локация, системы контроля за производственными процессами, системы контроля за персоналом, охранные системы и т. д.

В работе рассмотрены принципы действия данного радара, его внутренняя структура и вычислительные мощности, а также применяемые алгоритмы обработки сигналов (рисунок 1) и пересылки данных. Кроме того, проведена работа по снятию с радара сырых данных (синфазные и квадратурные составляющие)

без использования дополнительных технических средств, предлагаемых TI.

Так же проанализированы возможности применения данного радара в области автомобильной промышленности [1] и реализации на его основе алгоритмов синтеза апертуры [2].



**Рис. 1.** Структурная схема обработки сигналов на чипе IWR1642

### **Литература**

1. **В. И. Ряшенцева, студ., С. А. Серов, студ.; рук. А. А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)** СИСТЕМА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Международ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М. 2020, с. 1156.
2. **Баскаков А. И.** «Локационные методы исследования объектов и сред» — М: Академия, 2011, с. 384.

*В. И. Ряшенцева, студ., С. А. Серов студ.,  
рук. А. А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БОКОВОГО ОБЗОРА С РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ, РАСПОЛОЖЕННОМ НА АВТОМОБИЛЕ**

Сейчас, при оценивании профиля окружающего пространства в целях выявления потенциальных опасностей существует ряд неразрешенных задач, а именно: при использовании пассивных датчиков появляется зависимость корректной работы системы от погодных условий и степени освещенности атмосферы; использование же активных датчиков позволяет обойти эту проблему [1], но остается не решенным вопрос освещения боковых частей радиолокационной сцены.

Для этих целей найдено решение — использование радиолокатора с синтезированной апертурой антенны, который, по мере продвижения носителя, последовательно обрабатывает отраженный от подстилающей поверхности сигнал и строит радиолокационную карту местности в режиме реального времени [2].

Сейчас такие системы активно используются в летательных аппаратах, однако, актуально рассмотреть возможность их применения в составе наземного транспортного средства.

Цель работы заключается в создании модели работы такой системы. Для достижения данной цели решены следующие задачи:

- 1) Разобран способ обзора пространства посредством радиолокатора с синтезированной апертурой и используемый тип сигнала;
- 2) Разобран способ обзора пространства посредством наличия радиолокатора с синтезированной апертурой в составе автомобильного комплекса;
- 3) Промоделирован процесс бокового обзора подстилающей поверхности в пакете прикладных программ Matlab.

### **Литература**

1. **Баскаков А. И.** «Локационные методы исследования объектов и сред». — М: Академия, 2011, с. 384.
2. **В. И. Ряшенцева, студ., С. А. Серов, студ., рук. А. А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)** СИСТЕМА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая международная науч.-техн. конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. — М. 2020, с. 1158.

*А. В. Левашов, студ.; рук-ли А. А. Комаров, к. т. н., доц.;  
С. А. Лунев, гл. специалист (АО «Концерн «Вега»)*

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО РЕЖЕКТОРНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ БЛОКА СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ**

Важное место в ряду современных радиолокационных систем отводится авиационным системам дальнего радиолокационного обнаружения и управления авиацией (ДРЛО и У).

Подъем радиолокационной станции на авиационный носитель позволяет существенно, по сравнению с наземными радиолокационными станциями (РЛС), увеличить дальности обнаружения низколетящих целей за счет увеличения дальности радиогоризонта [1].

Самолеты ДРЛО и У позволяют решать следующие основные задачи:

- 1) создавать в случае необходимости радиолокационное поле над всей территорией;
- 2) обнаруживать воздушные, в том числе и низколетящие, и надводные цели на дальностях до нескольких сотен километров;
- 3) контролировать воздушную обстановку и обеспечивать устойчивое управление авиацией.

Основным элементом в большинстве ДРЛО является импульсно-доплеровская РЛС, работающая с малой скважностью излучения. В импульсно-доплеровских РЛС используется различие в спектрах сигналов, отраженных от движущихся целей и от земной поверхности. Соответственно, одним из важнейших блоков при первичной обработке сигналов является блок селекции движущихся целей. Селекция движущихся целей основана на использовании эффекта Доплера [2]. Выделение сигналов целей на фоне мешающих отражений основано на различиях в их спектрах, поскольку спектр мешающих отражений группируется в области частот, примыкающих к спектральным линиям излученного импульсного сигнала.

Следовательно, в каждом элементе дальности должна производиться рекурсивная процедура режекции спектра помехи от подстилающей поверхности в кадре. Именно эту задачу необходимо выполнить цифровому режекторному фильтру.

### **Литература**

1. **Верба В. С.** Обнаружение наземных объектов. Радиолокационные системы обнаружения и наведения воздушного базирования. М.: Издательство «Радиотехника», 2007. — 360 с.
2. **Баскаков А. И.** Локационные методы исследования объектов и сред: учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 384 с.

*А. А. Чугунов, аспирант; рук. Р. С. Куликов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИНТЕЗ ФИЛЬТРАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ ПАССИВНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

Точность определения координат источников радиоизлучения (ИРИ) в многопозиционных пассивных комплексах (МПК) во многом определяется используемым алгоритмом. Традиционно в МПК применяют одномоментные оценки координат ИРИ, полученные методом наименьших квадратов (МНК), где в качестве исходных данных используют разности измерений моментов приема радиосигнала ИРИ в разнесенных приемных пунктах (ПП) [1]. Такой подход игнорирует часть информации, содержащуюся в наблюдениях — моменты и период излучения радиосигнала ИРИ.

Цель работы — анализ потенциальных возможностей фильтрационного алгоритма определения координат и моментов времени излучения ИРИ, основанный на наблюдениях последовательных выборок времен приема радиосигналов.

В результате представлен алгоритм совместной фильтрации координат ИРИ и времени излучения. При условии длительного наблюдения одного ИРИ и обеспечении относительной синхронизации шкал времени всех ПП, в МПК появляется возможность повышения точности оценки координат и времени излучения радиосигналов за счет накопления и совместной обработки всех наблюдений.

Приведены результаты моделирования различных алгоритмов определения координат ИРИ и показаны преимущества предложенного алгоритма по сравнению с традиционным алгоритмом на основе разностно-дальномерного метода: уменьшение СКО погрешности оценки координат более чем в 4,9 раза в рабочей зоне МПК и определение координат в «слепой» для РДМ зоне МПК.

Представленный алгоритм калмановского типа не является строго оптимальным, но демонстрирует положительный эффект за счёт использования дополнительной информации, которая игнорируется при одномоментной оценке координат ИРИ на основе РДМ с помощью МНК.

### **Литература**

1. **Черняк В. С.** Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. — М.: Радио и связь, 1993. — 416 с.



Д. Т. Юдаев, студ.; рук. В. Г. Грачев, к.ф.-м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНИМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

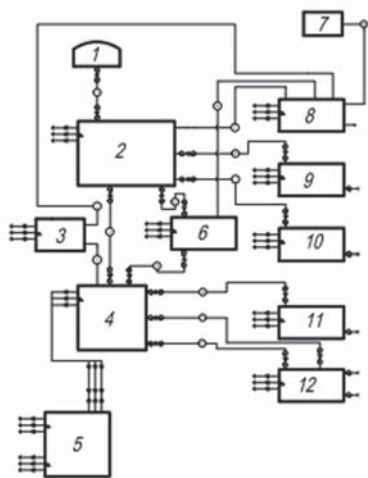


Рис. 1. Разработанная схема системы частотно-временной синхронизации

Система частотно-временной синхронизации (СЧВС) позволяет обеспечить единство частотно-временных и пространственно-временных измерений [1] на разнесенных друг от друга наземных антенных комплексах для дальнейшей обработки полученной информации в комплексе управления дальними космическими аппаратами (ДКА).

В данной работе рассматриваются методы реализации СЧВС и проводится анализ современных технических решений, соответствующих актуальным требованиям для дальнейшей возможности усовершенствования самих систем и их характеристик. Работа содержит результаты исследований, включающие в себя характеристики хранителя частоты и времени, системы сличения шкал и системы распределения сигналов частоты и времени. Представляется унифицированная схема,

разработанная в ходе выполнения работ по государственному контракту СЧ ОКР «Модернизация средств наземного комплекса управления дальними космическими аппаратами в обеспечение решения всех задач управления отечественными дальними космическими аппаратами». Рассматриваются оптимальные варианты реализации линии передач, с минимальными потерями, влияющими на один из важнейших параметров — дисперсию Аллена.

Разработанная схема системы частотно-временной синхронизации, изображенная на Рис. 1, состоит из: 1 — антенна; 2 — устройство синхронизации частоты и времени; 3 — панельный компьютер; 4 — водородный стандарт частоты и времени; 5 — источник бесперебойного питания; 6 — частотомер; 7 — индикатор времени; 8 — коммутатор; 9, 10, 11, 12 — распределители сигналов.

### Литература

1. Грачев В.Г. Тематический сборник «Пространственно-временная система реального времени». — Москва, под редакцией Грачева В. Г.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ, ФОРМИРУЕМЫХ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОЗНАЧНЫХ ДИСКРЕТНО-КОДИРОВАННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

Для увеличения дальности действия РЛС принято использовать сложные сигналы с большой базой. В работе предложен способ формирования сложных сигналов на основе дискретно-кодированных последовательностей, в котором кодовые интервалы задаются в виде комплекснозначных чисел. Спектры таких сигналов являются равномерными во всей полосе частот, а АКФ имеет единственный пик и нулевой уровень боковых лепестков. Комплекснозначные дискретно-кодированные последовательности могут задаваться в виде фазомодулированного сигнала и полигармонического сигнала.

Целью данной работы является исследование спектральных характеристик фазомодулированного и полигармонического представления комплекснозначных дискретно-кодированных последовательностей.

В ходе работы было рассмотрено фазомодулированное и полигармоническое представление сигналов, а также проведено исследование влияния размерности комплекснозначных дискретно-кодированных последовательностей и частоты несущего колебания на эффективную ширину и равномерность спектра.

Получено, что при увеличении размерности комплекснозначных дискретно-кодированных последовательностей эффективная ширина спектра фазомодулированного сигнала практически не изменяется, а эффективная ширина спектра полигармонического сигнала увеличивается по линейному закону. Также при увеличении несущей частоты сигналов эффективная ширина спектров фазомодулированного и полигармонического сигналов увеличивается по линейному закону. Результаты экспериментальных исследований подтвердили данные, полученные путем моделирования [1].

### **Литература**

1. **Хафизов Р.Г.** Анализ спектров сложных сигналов на базе комплекснозначных дискретно-кодированных последовательностей / Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников, А.А. Смышляев, Н.С. Виноградов // Проектирование и технология электронных средств. — 2020. № 3. — С. 3–8.

*А. А. Кобзева, асп. (НИУ «МЭИ»), В. А. Кобзев студ. (МГТУ им. Баумана, Москва); рук. А. А. Шовколович, к.т.н. ст. науч. сотруд. (АО «Концерн радиостроения«ВЕГА»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С АНАЛОГО-ЦИФРОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ, ИНТЕГРИРОВАННЫМ В ПЛИС «INTEL MAX 10»**

В настоящее время требования к вычислительной технике возрастают с каждым годом. В ряде задач необходимы высокоскоростные вычисления для минимизации отклика системы. В таких случаях актуально использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). При этом предъявляются требования к минимизации размеров вычислительных устройств, поэтому производители предлагают варианты совмещения аналоговых и цифровых устройств в одном «кристалле».

Фактором снижения скорости получения данных от аналого-цифрового преобразователя (АЦП) является необходимость переключения каналов.

Цель работы — снизить временные задержки получения данных с АЦП, интегрированного в ПЛИС INTEL MAX 10, в многоканальном режиме.

Производителем предусмотрено получение данных с АЦП через шину «Avalon», что снижает быстродействие передачи информации [1]. Использование модуля «adcblock\_primitive\_wrapper» (модуль «обертка АЦП») вместо шины «Avalon» позволяет:

- снизить временные задержки на передачу информации между АЦП и ПЛИС;
- расширить диапазон доступных параметров работы АЦП, в том числе изменять частоту тактирования в более широких пределах.

Для проведения эксперимента использовалось устройство «Cyclone 10 LP Evaluation Kit», в состав которого входит ПЛИС «MAX 10». Экспериментальным путем было найдено минимальное значение частоты тактирования в 40 МГц, при котором достигается минимум суммарной временной задержки получения данных от АЦП.

Использование модуля «обертки» и повышение частоты тактирования дало следующие временные задержки: на выдачу данных с одного канала 30 нс; при многоканальном режиме 40 нс на один канал. Это в 2,5 раза ниже, чем при использовании способа, предлагаемого производителем. Для анализа использовался сигнал с тактовой частотой в 50 МГц.

### **Литература**

1. **Hu-Qing Liu and Alpha Chang**, High-Speed ADC THS1041 and FPGA Interface Considerations, Texas Instruments Incorporated, 2007.

*Б. Наранбат, асп.;*  
*рук-ли А. Г. Ченский, к.т.н., доц. (ИРНТУ, Иркутск);*  
*О. Бухцоож, к.т.н., с.н.с.; С. Энхбат, д. ф.-м. н., в.н.с. (Институт*  
*физики и технологии Академии наук Монголии, г. Улан-Батор)*

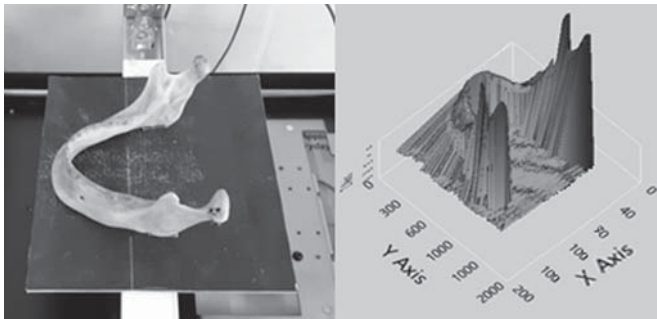
## НАСТРОЙКА И ЭКСПЕРИМЕНТ ЛАЗЕРНОГО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОГО 3D СКАНЕРА

Целью работы является разработка перпендикулярного 3D сканера, работающего по методу лазерной триангуляции с использованием системы линейной юстировки. Система юстировки позволяет значительно увеличить рабочую область сканера с высокой точностью [1]. Когда система настроена на все диапазоны измерения, точность измерения значительно снижается. Поэтому диапазон измерения был уменьшен, а точность системы увеличена с использованием метода частичной линеаризации.

$$H = 0,6816 \cdot \Delta D + 1,1938 \quad (1)$$

Уравнение (1) используется в алгоритме для настройки отношения между измеренной высотой ( $\Delta D$ ) и фактической высотой ( $H$ ) [2].

Программа написана на LabView и состоит из двух частей: первая часть предназначена для обработки 2D-изображений, а вторая часть преобразует 2D-изображения в 3D-модель и отображает на экране 3D-модель.



**Рис. 1.** Процесс сканирования челюстной кости человека: слева — сканирование, справа — 3D модель

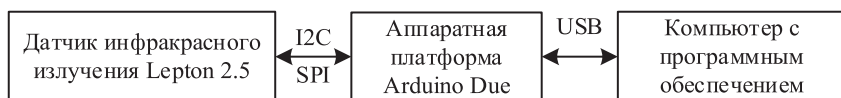
### Литература

1. **B. S. V. Ferreira, S. A. R. Eskinazi, M. A. F. Feitosa.** A method for image processing and distance measuring based on laser distance triangulation // IEEE 20th international conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS). 2013. P. 695–698.
2. **Б. Наранбат, А. Г. Ченский, Д. А. Токмачев, О. Бохцоож, С. Энхбат.** Метод калибровки 3D сканера // EUROPEAN SCIENTIFIC CONFERENCE. Сборник научных трудов по материалам XIII International scientific conference. г. Анапа, 2019 г. стр. 42–48.

*Б. Зандан, асп.; Б. Наранбат, асп.;  
рук-ли О. Бухцоож, к.т.н., с.н.с.; Т. Галбаатар, д.ф.-м.н., в.н.с.;  
С. Энхбат, д.ф.-м.н., в.н.с. (Институт физики и технологии  
Академии наук Монголии, г. Улан-Батор)*

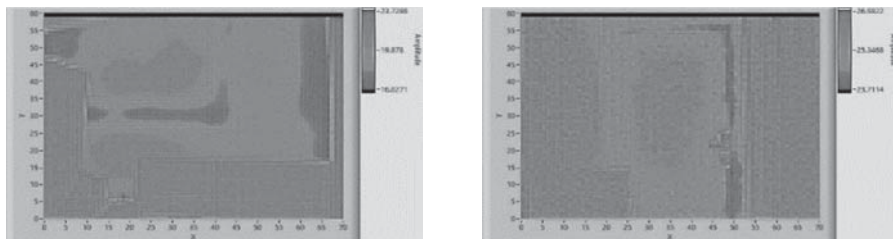
## ИНФРАКРАСНАЯ КАМЕРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ КАРТИН

Целью работы является создание ИК камеры для регистрации тепловых потерь в помещениях. Для этой цели в этой работе мы для измерения тепловых потерь и получения тепловых картин использовали датчик инфракрасного излучения Lepton 2.5 [1], у которого диапазон длин волн от 8 до 14 мкм и чувствительность меньше 0,05° К. Датчик имеет встроенные внешние интерфейсы, которые предназначены для управления (I2C) и для передачи данных (SPI). Для связи с компьютером используется аппаратная платформа Arduino Due на базе процессора ARM Cortex-M3 [2] (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема подключения составных элементов инфракрасной камеры для измерения тепловых потерь и получения тепловых картин

Программное обеспечение состоит из двух частей: первая часть написана на языке C и предназначена для передачи сигнала между датчиком и Arduino Due, а вторая часть — это программное обеспечение, написанное на языке LabVIEW [3], и оно тоже имеет пользовательский интерфейс, где показывает на экране тепловые картины (рис. 2).



**Рис. 2.** Пользовательский интерфейс программы: слева — тепловая картина окна, справа — двери

### Литература

1. **FLIR LEPTON Engineering Datasheet. 2018:** [Электронный ресурс] URL: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-engineering-datasheet.pdf> (дата обращения: 06.11.2020).
2. **Arduino tutorials point:** [Электронный ресурс] URL: [http://www.hamptonsailer.com/Fubar/arduino\\_tutorial\\_Rated\\_Best.pdf](http://www.hamptonsailer.com/Fubar/arduino_tutorial_Rated_Best.pdf) // (дата обращения 06.11.2020).
3. **Nasser Kentarnavaz.** Digital Signal Processing Laboratory: LabVIEW-based FPGA implementation. Brown Walker Press 2010.

**Секция 6**  
**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Quantum electronics**

---

*Председатель секции:*

*д. т. н., доцент Скорнякова Надежда Михайловна*

*Секретарь секции: Сычёв Дмитрий Геннадьевич*

*С. Ю. Белов, асп.; рук. Н. М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ПОЛЕЙ СМЕЩЕНИЙ ПОТОКА**

К настоящему моменту имеется огромное количество оптических методов для самых разнообразных научных исследований [1]. Основные оптические методы исследования потоков рассчитаны на построение сечения наблюдаемого процесса, однако было бы информативней получать данные не о сечении какого-либо объема, а о самом этом объеме. В эксперименте лучше выбрать область из трехмерной модели скорости потока, чем подстраивать каждый раз установку так, чтобы наблюдать интересующее экспериментатора сечение. Одними из наиболее распространенных и современных среди группы методов визуализации течений являются методы Particle Track Velocimetry (PTV) и Particle Image Velocimetry (PIV). В настоящее время активно разрабатываются комплексы PIV с применением принципа томографии [2].

В ходе исследования, описанного в статье [3], была собрана экспериментальная установка по методу анемометрии по изображениям частиц, в которой в качестве осветителя использовались параллельные друг другу лазерные плоскости, отличающиеся по длине волны. Такая схема установки может быть применима, например, если исследуемая область наблюдается только с одного направления, ортогонального самим плоскостям.

Авторами данной работы была разработана и применена методика разделения частиц на фотокадре, находящихся в одной из трех лазерных плоскостей с последующим построением поля смещений для каждой плоскости с субпиксельной точностью. Также был разработан и использован алгоритм, позволяющий получить спрогнозированную информацию о полях смещений в пространстве между лазерными плоскостями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-0-00921 А).*

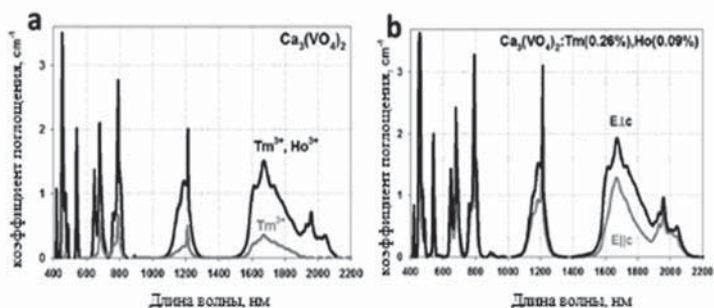
### **Литература**

1. **Зуев В. Е., Банах В. А., Покасов В. В.** Современные проблемы атмосферной оптики. В 9 т. Т. 5. Оптика турбулентной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
2. **Современные** оптические методы исследования потоков: Коллективная монография / под ред. Б. С. Ринкевичюса. — М.: Оверлей, 2011.
3. **Усманова Ш. Ш., Скорнякова Н. М.** Исследование влияния длин волн лазерных плоскостей на точность МАИЧ измерений // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. Студентов и аспирантов: тез. докл., 2020.

*В. Р. Стрельцов; рук. Н. М. Скорнякова д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ ОРТОВАНАДАТА КАЛЬЦИЯ

Целью настоящей работы является исследование спектральных характеристик кристаллов ортованадата кальция при различных концентрациях примесей, вводимых в его структуру. В работе [1], рассмотрено влияние примесей тулия и гольмия в разных концентрациях. При добавлении различных концентраций тулия и гольмия происходит изменение спектральной характеристики как показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Сравнение спектров поглощения кристаллов  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  (0.06 at%) и  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  (0.26 at%):  $\text{Ho}^{3+}$  (0.09 at%) (а) и поляризованный спектр поглощения кристалла  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  (0.26 at%):  $\text{Ho}^{3+}$  (0.09 at%) (б)

Подобно кристаллу  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  ортованадат кальция, солегированный  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ , обладает очевидной анизотропией спектров поглощения (Рисунок 1(б)). Кристалл  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}: \text{Ho}^{3+}$  показал практически аналогичную (примерно в 1,3 раза) разницу в максимальной интенсивности поглощения для  $E_{\perp c}$  и  $E_{\parallel c}$ , как для кристалла  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$ , наблюдаемого ранее. Примерно такая же разница для двух поляризаций наблюдалась в спектре люминесценции кристалла  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$ , как показано на рис. 1(а). Как следует из рис. 1(а) для тулиевой накачки 792 нм, интенсивность люминесценции ионов  $\text{Tm}^{3+}$  была значительно подавлена, и в основном наблюдался пик люминесценции  $\text{Ho}^{3+}$  при 2040 нм. Справочные спектры нормированной поляризованной люминесценции для ионов  $\text{Tm}^{3+}$  также показаны на рисунок 1(а) пунктирными линиями. Время жизни люминесценции при переходах около 2 мкм было измерено равным 1,3 мс для  $\text{Tm}^{3+}$  и 3,2 мс для ионов  $\text{Ho}^{3+}$  в кристаллах  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  и  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Ho}^{3+}$  соответственно

### Литература

1. L. I. Ivleva, E. E. Dunaeva, I. S. Voronina, M. E. Doroshenko, A. G. Papashvili,  $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2: \text{Tm}^{3+}$  — A new crystalline medium for 2- $\mu\text{m}$  lasers // Journal of Crystal Growth, V. 501, p. 18–21 (2018)



К. А. Барбышев, студ.; рук. О. В. Печинская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОДЕЛИТЕЛЬНОГО БЛОКА ПИРОМЕТРА СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

Пирометр спектрального отношения предназначен для измерения температуры пламени авиационного двигателя в диапазоне 1000–2500 К [1]. Моделирование выполнено для трех длин волн: 0,98 мкм; 1,38 мкм; 1,48 мкм [2].

Были разработаны две оптические схемы спектроделительного блока пирометра: с призмным блоком и на основе светоделительных пластин. Несмотря на то, что схема с призмным блоком имеет следующие преимущества: возможность обеспечить более узкий спектральный диапазон в каждом канале, легче юстируется и не подвержена разъюстировкам, имеется возможность установки дополнительной призмы для ввода излучения юстировочного канала, схема с пластинами на данном этапе работ предпочтительнее. Призмный блок изготавливается на заказ, тогда как схему со светоделительными пластинами можно собрать из готовых компонентов. К тому же потребуется разработка спектроделительного оптического покрытия для призм, которое будет пропускать излучение с определенной длиной волны, а во второй схеме используются готовые интерференционные фильтры.

В дальнейшем планируется создание макета пирометра спектрального отношения со светоделительными пластинами и экспериментальные исследования его характеристик.

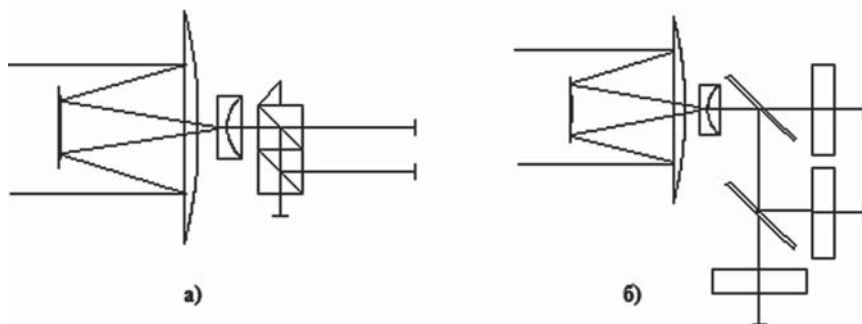


Рис. 1. Схема ПСО с призмным блоком (а) и светоделительными пластинами (б)

### Литература

1. Поройков А. Ю., Фланден В. С., Лапицкий К. М. Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 1. с. 110–116.
2. Барбышев К. А. Отчет по производственной практике «Моделирование оптической системы пирометра спектрального отношения в САПР Zemax», М.: НИУ МЭИ, 2020.

*М. В. Цветков, студ.; рук. И. Н. Павлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ НА МЕТОД НПВО**

Явление нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) известно достаточно давно и на нем основываются довольно чувствительные методы измерения показателей преломления. За счёт использования широкого коллимирующего пучка метод НПВО позволяет определять распределение показателя преломления в тонком пограничном слое исследуемой среды.

В связи с тем, что все реальные источники имеют конечную ширину спектра излучения, возникает необходимость изучения влияния зависимости показателя преломления стекла призмы от длины волны на результаты измерения метода НПВО.

Для этого был произведен расчет параметров прохождения через призму 45–45–90 с показателем преломления стекла  $n_c=1,5677$  излучения с длинами волн 300, 550, 635 и 650 нм. Угол наклона оптической оси лазера к горизонту составлял 30 градусов, что приближенно равно значениям, используемым в реальных экспериментах.

Чтобы найти, какой показатель преломления стекла будет соответствовать каждой длине волны, можно воспользоваться таблицей значений, приведенной в [2]. Для получения показателей преломления стекла для решения задачи, необходимо аппроксимировать полученные значения. Из полученного графика были определены показатели преломления для данных в задании длин волн. Зная угол наклона оптической оси лазера к горизонту, с помощью закона преломления можно рассчитать угол падения излучения на основание призмы, а также угол выхода лучей с разной длиной волны из призмы.

По результатам расчета выходных углов из призмы был сделан вывод, что явление дисперсии никак не влияет на выходной угол излучения. Для выходного угла играет роль только угол падения излучения на призму. Дисперсия влияет только на смещение выходящих из призмы лучей друг относительно друга. Величина смещения для лучей на выходе из призмы составляет порядка 67 микрон, этим смещением в реальных условиях можно пренебречь.

### **Литература**

1. **Илларионова Е. А., И. П. Сыроватский.** Рефрактометрия теоретические основы метода практического применение метода, Иркутск, ИГМУ, 2013.
2. **Павлов И. Н.** Лазерная визуализация потоков по нарушенному полному внутреннему отражению: вып. квал. работа бакалавра. М., МЭИ, 2004.

*М. К. Исаев, студ.; рук. Н. М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕНЕВОЙ ФОНОВЫЙ МЕТОД В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

При исследовании потоков часто для наглядности процесса прибегают к методам визуализации [1]. Теневой фоновый метод является одним из этих методов. Данный метод бесконтактный, прост в установке, обладает неограниченным полем обзора, а также высокой точностью [2]. ТФМ используется при исследованиях в аэродинамике и гидродинамике.

Конечной целью данной работы является разработка методики использования ТФМ для выполнения измерений характеристик затопленных течений. На данном этапе работы были получены распределения температуры в потоке затопленной струи на основе визуализационных картин теневого фонового метода. Эксперимент заключался в видеорегистрации процесса распространения затопленной струи воды для нескольких различных ее положений относительно фонового экрана и видеокамеры. Полученные в ходе эксперимента изображения обрабатывались в программе PivView.

Результаты обработки экспериментальных изображений позволили заключить, что затопленный поток представлял собой оптическую неоднородность конической формы, которую, в свою очередь, можно представить, как набор плоских двояковыпуклых преломляющих поверхностей, расположенных вдоль оси распространения потока.

Затем при помощи программного обеспечения MathCad был произведён расчёт хода лучей через данную оптическую неоднородность, получена формула для результирующего смещения в зависимости от температуры. Подставляя в формулу смещения, полученные экспериментально из картин визуализации, с помощью встроенных функций программы MathCad получили температуру.

Таким образом можно заключить, что ТФМ является пригодным для проведения измерений средством, однако для каждого конкретного исследуемого объекта требуется подбор модели его пространственной структуры. В дальнейшем предполагается исследовать влияние явления дисперсии на полученные результаты, а также проведение аналогичных экспериментов с жидкостями другого химического состава.

### **Литература**

1. **Шашкова И. А., Скорнякова Н. М.** Визуализация паров жидкости теньвым фоновым методом // Глобальный научный потенциал. 2014. № 12 (45). С. 110–113.
2. **Теневой фоновый метод — оптический метод исследования ударных волн.** Герасимов С. И., Трепалов Н. А. Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 12.

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

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ФАСКИ СВЕТОВОЗВРАЩАТЕЛЯ НА ДИФРАКЦИОННУЮ КАРТИНУ ОТРАЖЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Целью настоящей работы является исследование дифракционной картины отраженного от уголкового отражателя (УО) излучения на дистанции от 0 до 300 метров. В работе [1], рассмотрено влияние размера УО и погрешности изготовления УО (наличие фасок на ребрах УО, развал двухгранного угла) на распределение энергии отраженного излучения. При этом, изучение дифракционной картины отраженного от УО излучения необходимо для проверки работоспособности комплекта оптических элементов мишени сближения (КОЭМС). КОЭМС будет применяться в автоматической системе стыковки пилотируемого транспортного корабля (ПТК) и международной космической станции (МКС).

КОЭМС делится на мишень дальней дистанции (МДД) и мишень ближней дистанции (МБД).

Первая состоит из трех элементов с семью уголковыми отражателями (УО) в каждом. МДД предназначена для отражения излучения осветителя в диапазоне от 20 до 300 метров. На предельном расстоянии будет наблюдаться следующая диаграмма направленности (рис. 1.), не зависящая от размеров фасок на ребрах УО.

МБД состоит из 8 УО и отражает излучение осветителя в диапазоне от 0 до 20 метров.

На рис. 1 представлены полученные диаграммы направленности отраженного от УО излучения для размеров фаски на ребрах УО — 0,3 мм (а) и 0,1 мм (б). Апертура УО — 21 мм, а расстояние между точечным монохроматическим источником излучения и УО составляет 15 метров. Из анализа рис. 1 можно сделать вывод, что размер фаски оказывает меньше влияния на формирование ДН отраженного излучения при уменьшении размера фаски с 0,3 до 0,1 мм.

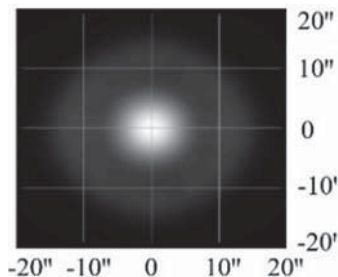


Рис. 1. Дифракционная картина на расстоянии 300 м

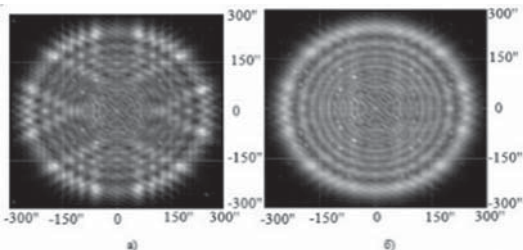


Рис. 2. Диаграммы направленности при разных фасках

### Литература

1. **Fuss P. et al.** Study of the diffraction by the corner cube // Optical Design and Engineering III. — International Society for Optics and Photonics, 2008. — Т. 7100. — С. 710015.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЛОКА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ**

Работа посвящена продолжению разработки оптико-электронного комплекса для реализации измерений методом мультицветной анемометрии по изображению частиц (МАИЧ).

Мультицветная анемометрия по изображению частиц относится к современным методам диагностики и визуализации потоков. Отличительной чертой МАИЧ от существующих модификаций анемометрии по изображению частиц является возможность измерения векторного поля скоростей потока одновременно в трёх плоскостях [1].

Разрабатываемый оптико-электронный комплекс для реализации МАИЧ измерений, включает в себя блок формирования параллельных лазерных плоскостей с разными длинами волн, приемной системы, состоящей из цветной КМОП матрицы и компьютера со специализированным программным обеспечением. Следует отметить, что комплекс может найти широкое применение для различных исследований в области гидро и аэрогидродинамики, визуализации быстротекающих процессов и сложных вихревых структур, а также он достаточно мобилен, не требует предварительной работы по его калибровке и обладает более низкой стоимостью, чем существующие аналоги, предназначенные для стерео измерений.

На основе результатов полученных в работах [1, 2] был разработан качественный образец блока формирования лазерных плоскостей, и была проведена серия экспериментов по его апробации. В качестве объекта исследования выступала вихревая структура, образованная с помощью химической мешалки RW 16 basic в жидкости, предварительно засеянной стеклянными сферами. Для оценки работоспособности блока все экспериментальные данные сравнивались с компьютерной моделью работы химической мешалки, разработанной в программном комплексе FlowVision.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-07-00921 а).

### **Литература**

1. **Usmanova S. S., Skornyakova N. M., Anikeev A. V. and Evtikhieva O. A.** The study of vortices based on the multi colored particle image velocimetry technique // Journal of Physics: Conference Series, 2019, Volume 1421, conference 1, paper 012004.
2. **Усманова Ш. Ш., Скорнякова Н. М.** Влияние параметров лазерных плоскостей на визуализацию поля скоростей потока // Тезисы докладов XXVI МНТК студентов и аспирантов. 12–13 марта 2020 г. — М.: МЭИ. — С. 89.

*А. В. Шашкина, студ.; рук. А. С. Акентьев, к.т.н.;  
рук. А. Л. Соколов, д.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ АВТОНОМНЫЙ СФЕРИЧЕСКИЙ СПУТНИК С ВЫСОТОЙ ОРБИТЫ 5200 КМ**

Цель работы — расчёт точностных, энергетических и массогабаритных характеристик пассивного спутника с уголковыми отражателями, создаваемого для эксплуатации на орбите высотой 5200 км.

Пассивные спутники-цели для высокоточной лазерной дальнометрии, как правило, представляют собой металлические шары, на поверхности которых расположено большое количество уголковых отражателей (УО) [1]. Однако из-за воздействия магнитного поля Земли на металлические элементы спутников они постепенно снижают скорость вращения вокруг собственного центра масс [2], что мешает получению результатов многократных измерений дальности и, как следствие, увеличивает «ошибку цели». В связи с этим большой интерес представляют стеклянные спутники, конструкция которых позволила устранить недостатки, присущие металлическим сферическим спутникам.

Примером такого спутника может послужить геодезический лазерный автономный сферический спутник, созданный в АО «НПК «СПП» для эксплуатации на орбите высотой 1500–2000 км.

В результате проделанной работы определена средняя величина скоростной аберрации света на высоте орбиты 5200 км, определены энергетические характеристики уголкового отражателя геодезического лазерного автономного сферического спутника для эксплуатации на орбите высотой 1500–2000 км, рассчитаны точностные, энергетические и массогабаритные характеристики пассивного стеклянного спутника с уголковыми отражателями.

### **Литература**

1. **Васильев В. П., Шаргородский В. Д.** Электромагнитные волны и электронные системы // 2007. № 7.
2. **Акентьев А. С., Васильев В. П., Садовников М. А., Соколов А. Л., Шаргородский В. Д.** Ретрорефлекторный сферический спутник // 2015. № 4.

**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. Захарова Елена Владимировна*

*С. В. Солдаткин, С. В. Черных, А. Е. Боев, Н. Н. Руковишников,  
студенты; рук. Р. С. Куликов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Необходимость развертывания локальных навигационных систем (ЛНС) возникает в тех случаях, когда использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в качестве источника информации о местоположении объектов не эффективно. Такие условия возникают, если покрытие навигационным полем ГНСС отсутствует (в закрытых помещениях, под землей), покрытие ГНСС имеет недостаточное качество (условия городского каньона, карьеры) или точности ГНСС недостаточно для решения определенных задач (навигация беспилотных автомобилей, автоматизированных роботов).

ЛНС применяются для решения широкого спектра задач: мониторинг персонала на предприятиях, навигация пешеходов в общественных местах, навигация автотранспорта на подземных парковках, навигация промышленных и сервисных роботов, киберспорт, VR, медицинские и спортивные применения.

Как правило, ЛНС реализуют позиционный метод определения координат и требуют наличия инфраструктуры в виде опорных маяков. Известно, что относительное геометрическое расположение опорных маяков существенно влияет на качество определения координат потребителей. Для количественной оценки данного влияния используется понятие геометрического фактора (ГФ) [1].

В докладе представлен результат разработки Windows-приложения и мобильного Android-приложения, позволяющего на этапе проектирования ЛНС подобрать оптимальное расположение опорных точек для достижения минимального значения ГФ по всей рабочей зоне системы. В приложениях реализованы следующие функции: возможность загрузки плана помещения, учет отсутствия прямой видимости из-за стен и перегородок, реализация дальномерного и разностно-дальномерного метода определения координат.

### **Литература**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.



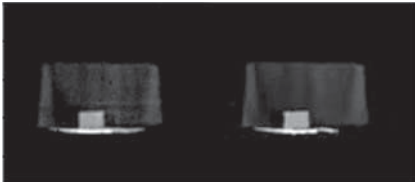
*Н. В. Масалкова, студ.; А. А. Чугунов, асп.;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ЗРЕНИЕ (КАК У ЛЕТУЧЕЙ МЫШИ) НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ НАВИГАЦИИ РОБОТОВ СРЕДИ ПРЕПЯТСТВИЙ**

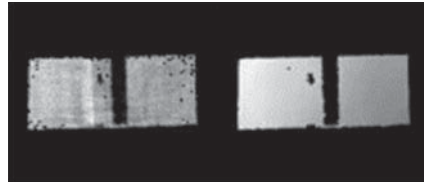
В настоящее время разработка и производство мобильных роботов представляет собой динамично развивающуюся отрасль. В связи с этим актуальным является решение задачи навигации робота в закрытом помещении, где зона радионавигационного покрытия глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) низкого качества или вовсе отсутствует [1]. Некоторые технологии, применяемые для позиционирования и навигации робота, обладают своими достоинствами и недостатками, например, оптические системы и машинное зрение отличаются высокой точностью позиционирования, 3D видением, но дорого стоят. Ультразвуковые системы имеют среднюю точность позиционирования, определяют только расстояние до объекта и по сравнению, например, с лидаром, значительно дешевле.

Таким образом, стоит вопрос об улучшении ультразвуковой системы. Для этого предложен инструмент искусственных нейронных сетей (ИНС), которые в настоящее время представляют собой новую и весьма перспективную вычислительную технологию.

В докладе представлена программно-аппаратная установка, состоящая из ультразвуковой подсистемы на базе недорогих ультразвуковых дальномеров и референсной оптической подсистемы. Данные с установки обрабатываются компьютерной моделью ИНС. Применение ИНС дало возможность «видения» в 3D окружающего пространства. Результаты работы модели представлены на рис. 1–2.



**Рис. 1.** Слева — оценка сети, справа — референс. Один предмет в кадре



**Рис. 2.** Слева — оценка сети, справа — референс. Два предмета в кадре

### **Литература**

1. **Schneider D.** (2013). New indoor navigation technologies work where GPS can't. IEEE Spectrum.

Д. Д. Малафеева, студ.; рук. И. А. Нагин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ УГЛА НАКЛОНА ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ВЕХИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГНСС-ПРИЕМНИКА И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Для определения координат объектов с высокой точностью в геодезии используются вежи с ГНСС-приёмниками. Принцип определения координат целевой точки состоит в измерении координат фазового центра антенны, расположенной на другом конце вежи и дальнейшем вычислении координат целевой точки за счёт известной длины. При этом наличие наклона приводит к необходимости определения углов ориентации вежи для пересчёта измерений в целевую точку. Углы ориентации можно определить с помощью алгоритма комплексирования ГНСС-измерений и измерений инерциальных датчиков МЭМС класса.

Существуют также алгоритмы компенсации наклона, основанные на использовании магнитометров, однако, магнитометры чувствительны к магнитным помехам и требуют обязательной калибровки.

Таким образом, компенсация наклона с использованием инерциальных датчиков позволяет избавиться от недостатков, которые имеют алгоритмы с использованием магнитометров. Более того, положение вежи возможно определять в реальном времени.

В докладе рассматривается решение задачи разработки алгоритма совместной обработки навигационных измерений ГНСС-приёмника и измерений инерциальных датчиков — акселерометра и гироскопа с целью компенсации угла наклона геодезической вежи и повышения точности оценивания координат целевой точки.

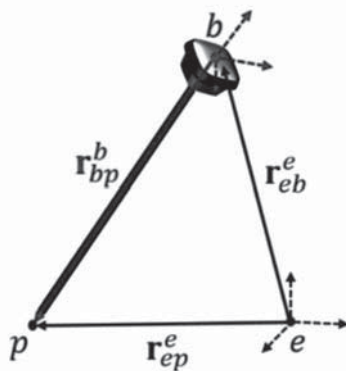


Рис. 1. Компенсация угла наклона на основе определения ориентации вежи

### Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.

*В. Д. Смагин, асп.; рук. А. А. Самокрутов, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Всё больше сфер на сегодняшний момент нуждаются в точном определении, как своего местоположения, так и расположении удаленного от них объекта, например, огромный интерес проявляется к разработкам «умных» оружий и приборов, которым зачастую необходимо рассчитывать местоположение цели с погрешностями менее 1 градуса. Текущие методы не всегда могут позволить такую точность, поэтому актуальной проблемой является повышение точности позиционирования.

Повышения точности позиционирования можно добиться за счет объединения различных видов навигационных систем, например: спутниковой (далее СНС) и инерциальной (далее ИНС). Такое совмещение позволит достоинствами одной системы перекрыть недостатки другой, т. к. в условиях невозможности определения координат глобальной системой навигации — СНС, местоположение будет определять локальная система координат — ИНС.

На практике мы также сталкиваемся с несовершенностью измерительных датчиков, например: дрейф гироскопа или акселерометра, плохая связь между приемником и передатчиком радиосигнала, помехи и т. д. Для того чтобы минимизировать эти ошибки, можно воспользоваться фильтром Калмана.

В данной работе используется угломерно-дальномерный способ для определения местоположения удаленного объекта. В ходе исследований было выявлено, что основным источником погрешности является магнитный компас, необходимый для поиска угла азимута, т. к. определение данных может проходить в условиях повышенной внешней намагниченностью. В таких случаях предлагается использовать привязку по местности, т. е. использовать гироскоп для определения угла азимута относительно объекта, значение угла азимута до которого уже известно, чтобы выдаваемые значения с гироскопа были не относительные, а абсолютные.

По результатам работы планируется использование полученных результатов в приборе для определения, как собственных координат, так и координат цели.

О. К. Михайлова, студ.; рук. И. В. Корогодина, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ОБРАБОТКА ВОС И АЛТВОС СИГНАЛОВ ДВУМЯ ТРАДИЦИОННЫМИ КАНАЛАМИ КОРРЕЛЯТОРА

С развитием спутниковых навигационных систем расширяется список навигационных сигналов. Так в системах ГЛОНАСС и GPS вводятся сигналы с модуляцией цифровой поднесущей (ВОС сигналы) [1]. Такие сигналы позволяют повысить точность оценки задержки, а также лучше распределять предоставленные частоты, что снижает внутрисистемные и межсистемные помехи.

Модуляция ВОС сигналов цифровой поднесущей усложняет их обработку. Поэтому для приема таких сигналов приходится изменять аппаратную часть корреляторов, либо использовать BPSK-like методы [2], позволяющие использовать аппаратуру, предназначенную только для BPSK сигналов. При применении BPSK-like методов либо обрабатывается только один лепесток, что ведёт к потере 3 дБ мощности, либо лепестки обрабатываются независимо. Но и в первом, и во втором случае расширяется корреляционный пик, из-за чего ухудшается точность оценки задержки.

Представлен алгоритм обработки перспективных ВОС сигналов, не требующий модификации традиционных корреляторов навигационного приемника. Получены статистические характеристики сплит дискриминатора. Проведен его сравнительный анализ с прямым алгоритмом при использовании цифровой поднесущей в опорном сигнале (см. рис. 1).

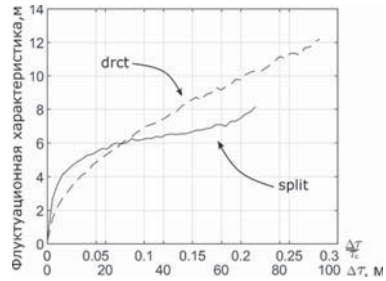


Рис. 1. Зависимость флуктуационных характеристик от отстройки компонент

### Литература

1. J. W. Betz, Binary Offset Carrier Modulation for Radionavigation, Navigation, Volume 48, pp 227–246, Winter 2001–2002.
2. J. Wendel, F.M. Schubert, S. Hager. A Robust Technique for Unambiguous BOC Tracking / Proceedings of the 26th International Technical Meeting of the ION Satellite Division, ION GNSS+2013, Nashville, Tennessee, September 16–20, 2013. — P. 3536–3547.

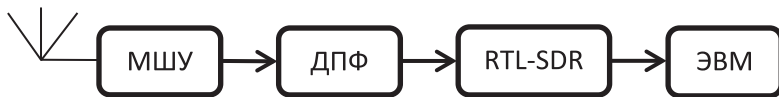
*А. С. Кузнецов, студ.; рук. Я. А. Зазулин, инж.  
(МГУ им. Н. П. Огарева, Саранск)*

## **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ RTL-SDR**

В настоящее время спутниковые системы связи широко применяются в различных областях промышленности и быта. В ходе работ над проектом было выяснено, что опыт по приёму эфирных радиосигналов у большинства студентов специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы» весьма незначительный. На кафедре преподаются дисциплины по приёму сигналов радиовещательных FM станций, приёму и декодированию сигналов GPS.

Нами был создан аппаратный комплекс, позволяющий обучающимся эффективно осваивать пройденный материал, и сформировать необходимый профессиональный навык, что в свою очередь повышает конкурентоспособность на рынке труда. Также учебно-методическая система может стать основой для развития научно-технического творчества школьников и абитуриентов.

Для увеличения вовлечённости студентов в обучающий процесс и лучшего усвоения пройдено материала была изготовлена система для приёма сигналов метеорологических спутников дистанционного зондирования земли серии NOAA и Meteor-M2. В качестве начального этапа была выбрана платформа RTL SDR, представляющая собой программно-конфигурируемое радио (Software Defined Radio). На рис. 1 изображена блок схема приёмного оборудования [1].



**Рис. 1.** Структурная схема приемного оборудования

При работе с предлагаемой нами учебно-методической системой у обучающихся проявляется большой интерес приёму и декодированию данных с метеорологических спутников. Также, сейчас, ведутся работы по дальнейшему совершенствованию приёмной системы.

### **Литература**

1. **Галкин В. А.** Основы программно-конфигурируемого радио: монография / В. А. Галкин. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2016. — 372 с. — ISBN 978-5-9912-0305-0.

*Т. А. Бровко, А. П. Малышев, А. Е. Боев, С. В. Солдаткин, студенты;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ СМАРТФОНОВ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ**

В настоящее время возрастает необходимость точного определения параметров движения человека, особенно в закрытых помещениях. Решение этой задачи актуально в таких областях как системы контроля производства, для обеспечения работы экстренных служб на аварийных объектах, как навигационные сервисы для позиционирования в сложных общественных объектах и т. д. [1].

Существующие способы решения являются неавтономными, нестабильными и подвержены помехам. Таким образом, необходимо разработать комплексную навигационную систему, в которой информация от радиотехнических датчиков будет дополнена измерениями акселерометров, гироскопов и магнитометров.

В данной работе рассматривается комплексная система навигации на базе смартфонов на основе информации от сверхширокополосных (СШП) радио-модулей и инерциальных датчиков, встроенных в смартфон. В качестве входных данных системы используют координаты, полученные от СШП-модулей смартфона и данные шагомера, встроенного в смартфон.

Научно-техническая ценность заключается в подтверждении работоспособности синтезированных алгоритмов позиционирования: а) путем имитационного моделирования; б) путем практического применения в макете навигационной системы; практическая ценность результатов заключается в применении перспективной технологии СШП сигналов, позволяющей получать решение навигационной задачи с субметровую точностью и погрешностью, которая по сравнению с Wi-Fi/Bluetooth, ниже в 5–10 раз, а также позволяющей увеличить темп навигационных определений на несколько порядков.

### **Литература**

1. **R. Kulikov, A. Chugunov, V. Pudlovskiy and D. Tsaregorodtsev**, “Weighted Pseudo-Range Method of Positioning in Local Ultra-Wide Band Navigation Systems,” 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT), Yekaterinburg, Russia, 2019, pp. 387–390.

*А. П. Малышев, студ.; Н. И. Петухов, асп.; А. О. Ходакова, студ.;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ОБЗОРНО-СРАВНИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ WI-FI СИГНАЛА И ИНЕРЦИАЛЬНОЙ ПЕШЕХОДНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Локальные навигационные системы (ЛНС) находят свое применение, когда использование сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) невозможно или качество принимаемых сигналов крайне низкое. Чаще всего в ЛНС реализуется позиционный или обзорно-сравнительный метод определения местоположения потребителя. Позиционный метод подразумевает развертывание дополнительной инфраструктуры в виде опорных маяков. Однако, существуют ситуации, когда такую подсистему маяков расставить затруднительно или невозможно, но допустимо воспользоваться существующей инфраструктурой Wi-Fi сетей здания с применением обзорно-сравнительного метода. Для повышения непрерывности и точности выдаваемых координат потребителя применяют совместную обработку измерений радионавигационной системы с измерениями от радиотехнических датчиков [1].

С выходом операционной системы Android 10, появилась возможность отключать программное ограничение на число измерений мощностей сигнала Wi-Fi сетей, что позволяет строить навигационные системы на базе смартфона с использованной данной технологии.

В данном докладе представлен синтезированный алгоритм определения координат и разработанный макет навигационной системы, осуществляющей комплексирование обзорно-сравнительного метода навигации, на базе смартфона. В котором в качестве карты физического поля выступает карта мощностей сигналов Wi-Fi сетей, а в роли нерадиотехнического датчика выступает шагомер, реализованный на смартфоне. Также в докладе приводятся результаты натурного эксперимента, показывающие качество работы предложенной навигационной системы.

### **Литература**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.

*Е. Н. Вильдерман, асп.; рук. Л. А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИГНАЛОВ С ГИПЕРФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ В СПУТНИКОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРАХ**

В докладе рассматриваются особенности формирования и обработки многопозиционных радиосигналов в современных системах спутниковой ретрансляции [1] и технические ограничения при их применении. При использовании трёхмерного поверхностно-сферического ансамбля сигналов с гиперфазовой модуляцией (ГПФМ) сигнальные точки расположены на поверхности сферы так, чтобы евклидовое расстояние между двумя ближайшими позициями было максимальным. В [2] доказана высокая помехоустойчивость такого канала связи и возможность передачи увеличенного количества информации в выделенной полосе радиочастот. Для ГПФМ сигнала, так же как и для ортогональной OFDM-модуляции [3] актуальна проблема пик-фактора, ограничивающая возможности систем передачи информации.

В докладе проведен анализ структурных решений и технических аспектов применения ГПФМ-сигналов. Приведён краткий обзор технических решений, направленных на снижение влияния пик-фактора радиосигнала и нелинейности усилителя мощности на энергетическую эффективность и помехоустойчивость системы беспроводной передачи информации.

Созданная в программном пакете MATLAB имитационная модель канала связи, включает формирователь, канал связи с аддитивным белым гауссовским шумом и радиоприемное устройство с демодулятором. Дана сравнительная оценка характеристик систем связи с гиперфазовой модуляцией по сравнению с использованием конвенционных сигналов с манипуляцией фазы.

Сформулированы рекомендации для практической реализации систем связи с ГПФМ-сигналом. Отмечена необходимость разработки метода снижения пик-фактора, решение вопросов восстановления несущих и организации системы тактовой синхронизации в радиоприемном устройстве.

### **Литература**

1. **Миноли Д.** Инновации в технологиях спутниковой связи; пер. с англ. под ред. А. А. Шашкова. — М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. — 446 с. ISBN 978-5-94836-545-9
2. **Быховский М. А.** Гиперфазовая модуляция — оптимальный метод передачи сообщений в гауссовских каналах связи. — М.: Техносфера, 2018. — 310 с.
3. **Ки Л. В.** Повышение эффективности систем цифрового вещания при OFDM-модуляции радиосигнала: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04 / Ле Ван Ки / МФТИ (гос. ун-т). — М., 2018. — 133 л.



*Я. Д. Парошин, студ., Д. А. Астахов (АО «РКС»), Р. Ф. Салахов (АО «РКС»); рук. И. В. Корогодин, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОГИБАЮЩЕЙ И ФАЗЫ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ИХ ФОРМИРОВАНИИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ГЛОНАСС**

Для решения задачи навигационных определений принимаемые сигналы имеют такую структуру, чтобы их можно было разделить и достаточно точно оценить параметры радиосигнала [1].

В процессе эксплуатации НС под воздействием внешних воздействующих факторов (ВВФ) космического пространства (КП) происходит изменение значений характеристик бортовой аппаратуры (БА) НС, что является причиной смещения значений огибающей и фазы радионавигационного сигнала. Для минимизации влияния данного явления разработаны специальные меры, которые значительно усложняют систему и алгоритмы расчета координат аппаратуры потребителя.

Цель работы — разработка алгоритма системы компенсации запаздывания огибающей и фазы навигационных сигналов при их формировании на борту НС. Данный алгоритм впервые в ГЛОНАСС апробирует механизмы управления параметрами навигационного сигнала.

В результате представлен алгоритм системы компенсации запаздывания огибающей и фазы навигационных сигналов, который позволит сохранить их значения в пределах, необходимых для сохранения заданной точности определения потребителем своих координат, а также упростить работу всей системы в целом. Приведены результаты моделирования данного алгоритма.

Развитие системы компенсации запаздывания огибающей и фазы навигационных сигналов в будущем позволит значительно упростить алгоритмы вторичного анализа при формировании эфемерид.

### **Литература**

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития / Под ред. А. И. Перова. — М.: Радиотехника, 2020. — 1072 с.

Г. Р. Мутасов, студ.; рук. И. В. Корогодин, доцент (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ДОСТИЖИМОГО УРОВНЯ РЕЖЕКЦИИ ПОМЕХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОЧАСТОТНОГО БЛОКА НА БАЗЕ NT1065

Одним из ключевых требований к навигационной аппаратуре потребителей является помехоустойчивость. Для повышения помехоустойчивости наиболее эффективным способом, как показано в [1], является пространственная обработка сигналов, предполагающая использование антенных решеток. Эффективность пространственно-временной обработки можно охарактеризовать достигаемым уровнем режекции помех. Уровень режекции ограничен такими факторами, как идентичность характеристик радиоприемных трактов и их линейность. В работе проведено исследование пространственно-временной обработки сигналов при использовании радиочастотного блока на базе NT1065 и дана оценка достигнутого уровня режекции помех (рисунок 1).

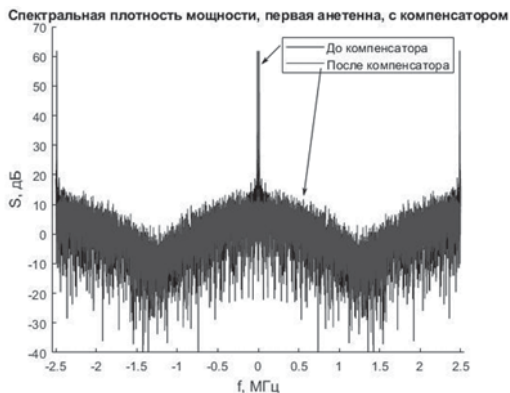


Рис. 1. Сравнение СПМ

### Литература

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / под ред. Перова А.И. — М.: Радиотехника 2020. — 1072 с.

*О. В. Глухов, Г. Р. Цымбал, Д. А. Мирошниченко, студ.;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И ОБУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА НИХ**

Развитие технологий с каждым годом предъявляет все более жесткие требования к решению задач определения ориентации и координат. Применяемые на практике методы не всегда обеспечивают необходимое качество, что способствует становлению новых подходов к решению поставленных задач. Одним из таких подходов является применение искусственных нейронных сетей (НС).

Цель работы — исследование эффективности решения нейронной сетью, обученной на измерениях датчиков угловых скоростей (ДУС), задачи определения ориентации.

Для достижения поставленной цели на языке программирования Python была написана модель измерений ДУС движущегося объекта в помещении. Из [1] известно, что кватернион полного поворота определяет ориентацию осей одной системы отсчета по отношению к другой. Таким образом, задача определения ориентации объекта в пространстве сводится к задаче оценивания кватерниона полного поворота нейронной сетью.

Методика обучения нейронной сети, используемая в работе, называется «обучение с учителем». В качестве «учителя» выступают значения кватернионов полного поворота, рассчитанные из векторов угловых скоростей объекта, используя алгоритм определения ориентации из [2]. При написании модели измерений ДУС на данном этапе исследований, не учитывались шумы измерений и дрейф нуля датчиков.

Для обучения на модели измерений ДУС была выбрана рекуррентная нейронная сеть с глобальной обратной связью для учета предыдущих состояний ориентации при оценивании нового состояния.

В докладе представлены количественные оценки эффективности работы НС, по которым был сделан вывод, что НС способна решать задачу определения ориентации. В дальнейшем планируются исследования с доработкой модели измерений инерциальных датчиков, а также добавление к ним радиоизмерений для их комплексированной обработки нейросетью.

### **Литература**

1. **А. И. Перов, В. Н. Харисов** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под. ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М: Радиотехника, 2010. 800 с., ил.
2. **Sebastian O. H. Madgwick**. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. Report x-io and University of Bristol (UK) vol. 25, 113–118, 30.04.2010

*А. М. Бражникова, студ. ;  
рук. Р. Г. Гришин, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

## **РАЗРАБОТКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА КЛАССА «МИКРО»**

Авторами тезисов был разработан подводный аппарат «Жемчужина», предназначенный для экологического мониторинга малых водоёмов [1].

При попытке использовать системы связи, работающих в радиочастотных диапазонах, для управления подводными аппаратами возникает проблема: вода существенно ослабляет любые электромагнитные колебания, распространяющиеся в ней (частный случай Скин-эффекта) [2].

Авторами данной работы был разработан программно-аппаратный комплекс гидроакустического канала связи предназначенный для размещения на миниатюрном подводном аппарате. Отличительная особенность комплекса — миниатюрные размеры: габариты передающей и приёмной антенны гидрофона составляет всего 40 мм.

В качестве оптимального метода модуляции для передачи цифрового сигнала была выбрана частотная манипуляция (не возвращающийся в ноль код) несущего сигнала между частотой 5 кГц и 9 кГц, соответствующим пикам АЧХ пьезокерамического гидрофона.

Модулирующий сигнал представляет собой прямоугольные импульсы, с выхода последовательного асинхронного приёмо-передатчика (UART) микроконтроллера. Для повышения помехоустойчивости применяется, реализованный программно, контроль чётности входящей последовательности бит, а также помехоустойчивый код Хемминга 7/4 (7 бит сообщения, 4 информационных бита), избыточность которого составляет 42%.

Удалось добиться устойчивой работы канала связи со скоростью передачи до 120 бит/с.

Предельная дальность передачи информации на указанной скорости при испытаниях составила 50 метров.

### **Литература**

1. **Е. В. Мельников, А. М. Бражников, А. М. Бражникова.** Разработка автономного подводного аппарата класса микро «Жемчужина» для мониторинга состояния малых водоёмов // Информационно-измерительные и управляющие системы. Межвузовский сборник научных статей. Самара, 2019.
2. **А. А. Власов.** Макроскопическая электродинамика. — М.: Наука, 2005.

*А. А. Шрамов, студ.; В. Д. Семёнов, асп.;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПЛИС**

Использование спутниковых систем навигации, такой как ГЛОНАСС, неэффективно для определения местоположения объектов внутри помещений, так как в помещениях нет покрытия радионавигационным полем либо оно крайне низкого качества. Таким образом, внутри ограниченных пространств традиционным становится использование систем позиционирования с использованием других подходов и технологий. Одним из таких подходов является использование Wi-Fi сигналов.

Цель работы — реализация локальной навигации внутри помещения путём передачи и приёма Wi-Fi сигнала с его последующей обработкой в искусственной нейронной сети (ИНС) с помощью программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). В докладе представлены промежуточные результаты работы: передача и приём Wi-Fi сигнала, снятие I/Q компонентов.

Для реализации используется программно-определяемый приёмопередатчик USRP (Universal Software Radio Peripheral) E310, который позволяет применить технологию ММО 2x2 в диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц. Обучение ИНС реализуется с помощью референсной системы навигации: в качестве референсных значений используются показания сверхширокополосной навигационной системы. USRP E310 построена на процессоре Xilinx Zynq 7020 SoC: ПЛИС 7 серии с двухъядерным процессором ARM Cortex A9, мощности которого достаточно для реализации ИНС. В зависимости от подхода к использованию ИНС она может быть настроена на решение первичной и вторичной задач радиолокации или исключительно на решение вторичной задачи.

В результате после приёма сигнала снимаются мгновенные значения с выхода аналого-цифрового преобразователя и переносятся в ИНС, реализованную на ПЛИС. Прежде чем ИНС станет решать прикладную задачу, она должна пройти стадию обучения, в процессе которой формируется конечная весовая матрица НС, позволяющая эффективно решать прикладную задачу на НС [1].

### **Литература**

1. **Кирсанов Э. Ю.** Нейрокомпьютеры с параллельной архитектурой / Э. Ю. Кирсанов. — М.: Радиотехника, 2004. — 496 с.

С. В. Черных, студ.; А. А. Чугунов, асп.;  
рук. Р. С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ТРАЕКТОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ ПАССИВНЫХ РАДИОСИСТЕМАХ

Одной из основных задач, решаемых радиолокационными системами, является определение координат целей и построение их траекторий. Известно, что радиозамеры содержат шум, подвержены влиянию помех (например, многолучевости), поэтому для повышения качества определения координат целей применяют алгоритмы траекторной фильтрации (сглаживания) с привлечением априорной информации разного рода о наблюдаемых процессах.

Особенностью многопозиционных пассивных радиосистем (МПРС) является совместная обработка первичной информации в разнесенных пунктах приема (ПП). К преимуществам МПРС относятся их скрытность и живучесть, а также более высокая точность определения координат объектов по сравнению с однопозиционными пеленгационными системами. Однако МПРС уступают по точности активным дальномерным системам, поскольку в МПРС принципиально нет возможности измерения дальностей от ПП до целей, поскольку время излучения неизвестно. Традиционно в МПРС применяют разностно-дальномерный (РД) метод определения координат целей, основанный на вычислении разностей моментов времени приема одного и того же радиосигнала на разных ПП [1].

РД метод игнорирует часть информации, содержащейся в наблюдениях, в частности, о моментах времени излучения радиосигнала целью и их периодичности. В докладе представлена следующая модель наблюдений на  $i$ -ом ПП в  $k$  момент времени:

$$y_{i,k} = (T_k^{изл} + R_i) \cdot c + n_{i,k}. \quad (1)$$

Таким образом, наблюдения  $y_k$  являются псевдодальностями с общим смещением  $T_k^{изл}$ , которое также оценивается и входит в вектор состояния;  $n_{i,k}$  — шум наблюдений,  $R_i$  — дальность от  $i$ -ого ПП до цели,  $c$  — скорость света.

В докладе представлено сравнение различных алгоритмов траекторной фильтрации, синтезированных на базе расширенного фильтра Калмана с моделью наблюдений (1) при следующих условиях: период излучения цели известен и постоянен, период излучения цели неизвестен и постоянен, период излучения цели неизвестен и непостоянен.

### Литература

1. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. — М.: Радио и связь, 1993. — 416 с.

**Секция 8**  
**ФОТОНИКА**  
**Photonics**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Попов Олег Алексеевич*

*Секретарь секции: Савицкая Анна Германовна*

*И. И. Железнов, асп.; рук. О. А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Проведен сравнительный анализ ультрафиолетовых источников оптического излучения, а именно диапазона УФ-С (длин волн от 100 до 280 нм). По результатам исследования было установлено, что беспорным лидером в данной области останутся бактерицидные разрядные лампы низкого давления. В связи с последними событиями, связанными с пандемией коронавируса, было выявлено, что ультрафиолетовое излучение с длиной волны 100–280 нм уничтожает возбудитель COVID-19. Данное открытие принадлежит учёным Бостонского университета США, которые в своём исследовании использовали дезинфицирующие разрядные лампы низкого давления [1] компании Signify. Ожидается, что такие источники излучения позволят быстро дезинфицировать воздух в больницах и общественном транспорте. В таблице 1 приведены значения КПД для УФ-С источников оптического излучения:

**Таблица 1.** Сравнение КПД УФ-С источников оптического излучения

<b>Источник оптического излучения</b>	<b>Бактерицидная разрядная лампа низкого давления</b>	<b>Автоэмиссионные лампы</b>	<b>УФ светодиоды</b>
КПД, %	50	6	4

### **Литература**

1. **Попов О. А., Старшинов П. В., Иликеева Р. А., Бурева Д. А., Ирхин И. В., Левченко В. А.** Исследование бесферритных индукционных амальгамных УФ ламп в замкнутых трубках малого диаметра // Вестник МЭИ. 2020. № 5.



*В. А. Панин, асп.;*  
*рук. П. В. Камшилов, ассистент кафедры (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛУЧЕННОСТИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ ТЕПЛИЦЫ МОБИЛЬНЫМ СПОСОБОМ**

В данной работе было проведено исследование возможности создания и использования измерительной установки для измерений распределения облучённости по технологической площади теплиц, а также разработана методика измерений, использующая данную мобильную установку и лишенная недостатков при-сутствующих стационарным методам измерений.

В составе мобильной установки можно выделить две основные части: приемник излучения LI-190R, и средство перемещения измерительной системы — беспилотный летательный аппарат с дистанционным управлением DJI Phantom 4 Advanced. Выбор компонентов системы осуществлялся исходя из особенностей тепличных помещений с учетом специфики проведения мобильных измерений [1–2].

Разработанная методика предусматривает проведение измерений в два этапа: измерение параметров искусственного облучения растений и обработка полученных данных, как от квантового датчика облучённости, так и от летательного аппарата, с целью получения значений облучённости и координат в конкретных точках измерения [3]. Полученные значения уже можно использовать для формирования протокола проведения измерений, но для более информативного представления результатов измерений строится карта распределения облучённости по технологической площади теплицы.

### **Литература**

1. **Juan Jesús Roldán, Guillaume Joossen, David Sanz, Jaime del Cerro, Antonio Barrientos.** Mini-UAV Based Sensory System for Measuring Environmental Variables in Greenhouses // *Sensors* 2015, 15, p. 3334–3350.
2. **Aleksandrov D.; Penkov I.** Optimal gap distance between rotors of mini quadrotor helicopter // In *Proceedings of the 8th DAAAM Baltic Conference, Tallinn, Estonia, 19–21 April 2012.*
3. **ПНСТ 211-2017** «Облучение растений светодиодными источниками света. Методы измерений».

*Ж. Ж. Чочаева, студ.; М. Е. Федянина, асп.;  
рук. П. И. Лазаренко, к.т.н., (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)*

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК МАТЕРИАЛОВ КВАЗИБИНАРНОГО РАЗРЕЗА GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>**

Тонкие пленки материалов фазовой памяти, лежащие на линии квазибинарного разреза GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>: Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> и GeSb<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>, интенсивно исследуются в настоящее время, что связано с перспективами их применения в энергонезависимых многоуровневых устройствах нанофотоники [1]. Принцип работы подобных устройств основывается на обратимых фазовых переходах между аморфным и кристаллическим состояниями под действием лазерного излучения или электрического тока, сопровождающихся резким изменением электрофизических и оптических свойств. Целью данной работы являлось определение влияния температуры термообработки на оптические свойства и оптическую ширину запрещенной зоны тонких пленок квазибинарной системы GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>.

Тонкие пленки составов Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> и GeSb<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> были сформированы на стеклянных подложках corning glass 1737F с помощью магнетронного распыления мишени на установке МВУ ТМ МАГНА 01. Расход рабочего газа Ar составлял 0,6 л/ч, подаваемая на мишень мощность — 25 Вт. Давление в камере после напуска рабочего газа составляло  $5,7 \cdot 10^{-3}$  Па. Спектры оптического пропускания и отражения измерялись на спектрофотометре Agilent Cary 5000 в диапазоне от 200 до 2600 нм. Термообработка образцов осуществлялась до выбранных температур в диапазоне от комнатной до 400°C в атмосфере Ar. Скорость нагрева и охлаждения составляли 5°C/мин.

На основе полученных результатов был проведен расчет коэффициентов поглощения и с применением метода Тауца оценены значения оптической ширины запрещенной зоны для всех исследуемых тонких пленок. Выявлено, что изменение состава по квазибинарному разрезу GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> приводит к уменьшению значений оптической ширины запрещенной зоны от 0,74 эВ до 0,58 эВ при изменении состава от Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> до GeSb<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> соответственно. Определено, что дальнейшая термообработка приводит к существенному уменьшению значений оптической ширины запрещенной зоны для всех составов. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения рабочих параметров создаваемых устройств на их основе.

### **Литература**

1. **Козюхин С. А.** Оптические свойства аморфных тонких пленок / С. А. Козюхин, К. Д. Цэндин, Х. Ф. Нгуен, В. В. Козик // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57. Вып. 7/2. С. 67–73.

*Я. С. Генералова, студ.;  
рук. П. И. Лазаренко, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)*

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК СИСТЕМЫ As-S ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФОТОНИКЕ**

Тонкие пленки сульфида мышьяка, обладающие широкой областью прозрачности в ИК-диапазоне и высоким показателем преломления, являются перспективными функциональными материалами для оптических и опто-электронных применений, к примеру для создания сенсоров на основе эффекта поверхностного плазмонного резонанса [1]. В данной работе проводилось исследование корреляционной зависимости «химический состав — оптические свойства» для тонких пленок системы As-S.

Исследуемые тонкие пленки ( $As_{10}S_{90}$ ,  $As_{12}S_{88}$ ,  $As_{15}S_{85}$ ,  $As_2S_3$ ) были получены методом вакуум-термического испарения на стеклянных подложках corning glass 1737F, обладающих пропусканием порядка 90% в широком диапазоне длин волн. Вес испаряемых материалов для всех процессов формирования пленок As-S составлял 0,16 г. Исследование оптических свойств тонкопленочных образцов проводилось с помощью спектрофотометра Agilent Cary 5000 в диапазоне длин волн от 200 до 2600 нм.

Определено, что вариация химического состава приводит к изменению спектров пропускания и отражения. Характерным для пленок всех исследуемых составов является наличие в диапазоне длин волн от 450 до 520 нм (в зависимости от состава) области интерференционных колебаний спектров. Математическая обработка данных колебаний позволила оценить значения толщин сформированных пленок и спектральных зависимостей показателя преломления. Следует отметить, что рассчитанные значения толщин близки к результатам, полученным с помощью атомно-силового микроскопа.

Полученные спектры отражения и пропускания были использованы для оценки коэффициента поглощения и оптической ширины запрещенной зоны для всех полупроводников с применением метода Тауца. Определено, что изменение состава внутри системы As-S позволяет изменять оптическую ширину запрещенной зоны в диапазоне от 2,3 до 2,6 эВ, что может быть использовано на этапе оптимизации функционального материала с целью улучшения рабочих параметров устройств, создаваемых на их основе.

### **Литература**

1. **Laurentiu Baschir.** Surface Plasmon Resonance Chemical Sensors Based on Amorphous Chalcogenide Waveguides / Aurelian A. Popescu, Dan Savastru, Sorin Miclos // Macromolecular symposia. 20 February 2020

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

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА РАЗВИТИЕ БИОМАССЫ РАСТЕНИЙ**

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

С этой целью автором исследования был произведён комплексный анализ теоретической оценки разнообразных фотобиологических процессов (в частности влияние спектрального состава излучения на протекание реакций, влияние температуры, углекислого газа и влажности) и их влияние на конечный результат в виде биомассы/массы плодов, на основе чего можно произвести разработку наиболее эффективного светодиодного модуля и поставить практический эксперимент, в котором будет производиться динамическое изменение параметров внешней среды. Затем данные будут статистически обработаны и осуществлён их анализ. Исходя из результатов анализа можно определить наиболее оптимальные параметры которые необходимо изменять/стабилизировать для получения наиболее благоприятного результата в виде конечного продукта (плоды, биомассы и т.д.).

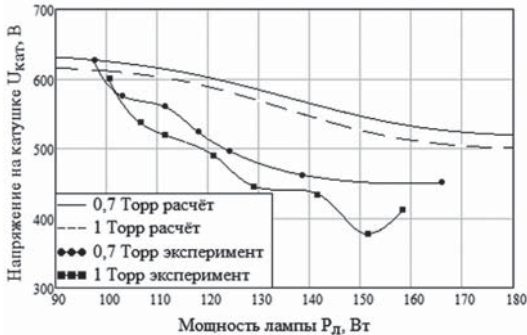
Результаты, полученные в ходе этой работы, могут иметь как прикладную ценность при проектировании установок для выращивания в искусственных условиях (теплицы и т.д.), так и теоретическую для продолжения исследований в этом направлении, а так же базу для будущих более фундаментальных исследований в этом направлении.

### **Литература**

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

Е. В. Ловля, асп.; рук. О. А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЧ ИНДУКТОРА БЕСФЕРРИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ ТРУБКЕ



**Рис. 1.** Зависимость напряжения на катушке индуктивности  $U_{кат}$  от мощности лампы  $P_{л}$ . Давление инертного газа  $p_{Ar}=0.7$  и 1 Торр,  $f=1.7$  МГц, число витков катушки  $N=3$ ,  $\rho_{кат}=1,4 \cdot 10^{-4}$  Ом/см

ВЧ поля 0.3–8.5 МГц. Катушка индуктивности была изготовлена из литцендрата (или из одножильного медного посеребрённого провода) и уложена по «внутреннему» или «внешнему» периметру, образованному разрядной трубкой. Сравнение полученных результатов с экспериментом [1] (рис. 1) показало, что они находятся в удовлетворительном согласии, а расхождения зависимостей, предположительно, обусловлены принятыми в работе допущениями, в частности, о радиальной однородности плотности плазмы и электрического ВЧ поля.

### Литература

1. Попов О. А., Старшинов П. В., Иликева Р. А., Буреева Д. А., Ирхин И. В., Левченко В. А. Исследование бесферритных индукционных амальгамных УФ ламп в замкнутых трубках малого диаметра // Вестник МЭИ. 2020. № 5.

Проведено исследование влияния конструктивных параметров трубки и ВЧ индуктора, а также частоты разрядного тока на электрические и энергетические характеристики катушки индуктивности (ВЧ индуктора) бесферритной ртутной индукционной лампы с замкнутой разрядной трубкой с внутренним диаметром  $d_{тр}=1.6, 2.5, 3.8$  см. Разряд возбуждался в смеси паров ртути ( $p_{Hg} \approx 8 \cdot 10^{-3}$  Торр) и аргона ( $p_{Ar} = 0.1-1$  Торр) на частотах

Я. А. Зазулин, инж.; рук. Б. Н. Денисов, д.ф.-м.н., проф.  
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМНОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

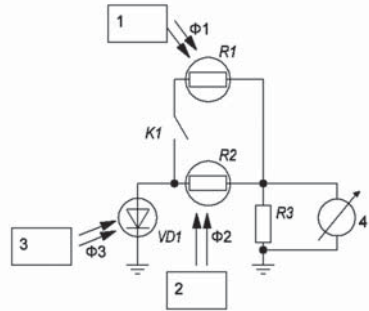
Известен перемножитель сигналов на основе нелинейного элемента (транзистора), на вход которого для перемножения подаются сигналы. Недостатком такого перемножителя, является отсутствие гальванической развязки между сигналами, для обеспечения которой необходимы дополнительные специальные устройства. Вторым недостатком таких устройств является наличие нелинейных искажений вносимых в перемножаемые сигналы.

Ранее нами было показано получение балансно-модулированного сигнала [1] посредством перемножителя оптических сигналов, который включает в себя фоторезистор, последовательно с которым включен регистрирующий прибор, и параллельно к ним подключен фотодиод. Между источниками света, фотодиодом и фоторезистором располагаются световоды. В настоящей работе рассмотрены варианты получения сигналов от перемножения трех сигналов при помощи устройства, приведенного на рисунке 1. Отличительной особенностью от аналога, рассмотренного в литературе [1], является наличие возможность обработки большего числа оптических сигналов.

Технический результат заключается в возможности аналогового перемножения двух и более оптических сигналов и получения амплитудно-модулированного и балансно-модулированного сигналов.

### Литература

1. Денисов Б. Н. Балансный модулятор на основе резисторного оптрона // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. № 1.



**Рис. 1.** Схема перемножителя трех оптических сигналов модулированных по интенсивности. 1, 2, 3 — источники оптических сигналов, VD1 — фотодиод, R2 — фоторезистор, 4 — регистрирующий прибор, Φ1, Φ2, Φ3 — оптические сигналы модулированные по интенсивности с частотой модуляции  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  — соответственно

**Секция 9**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Industrial electronics**

---

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

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

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

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ ППН**

Уменьшение массы и габаритов являются одними из основных тенденций в развитии современных статических преобразователей постоянного напряжения (ППН). Достигнуть снижения массогабаритных показателей можно повысив рабочую частоту или снизив потери мощности и нагрев устройства. При повышении частоты уменьшаются элементы фильтров и высокочастотный трансформатор преобразователя, но увеличиваются потери на переключение в ключевых приборах. А увеличение потерь мощности ведет к увеличению системы охлаждения.

Решением проблемы является применение резонансных преобразователей, позволяющих снизить потери на переключение практически до нулевого уровня [1]. Однако токи ключевых приборов резонансных ППН при передаче той же мощности, как правило, больше токов преобразователей, построенных без использования резонанса, что вызывает увеличение потерь проводимости.

Поэтому актуальной задачей является сравнительное исследование резонансных схем ППН и схем, не использующих резонанс, по уровню суммарных потерь мощности и массогабаритным характеристикам. Объектом исследования были выбраны ППН с трансформаторной развязкой, питающиеся от напряжения на уровне сотен вольт. Такие ППН широко применяются в составе источником питания собственных нужд различных устройств связи и автоматики. Целью работы является сравнение резонансных и нерезонансных схем ППН и выявление областей применения по мощности и по диапазонам питающих напряжений, в которых наиболее эффективна каждая из них. Сравниваются полумостовая схема без использования резонанса и схема резонансного преобразователя с частотно-импульсным управлением.

Были проанализированы указанные схемы, проведено моделирование в среде Simulink, рассчитаны действующие значения токов ключей, коммутационные и статические потери в элементах схемы и определены области их применения.

### **Литература**

1. **Справочник по силовой электронике** / Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин; ред. Ю. К. Розанов. — М.: Изд. дом МЭИ, 2014. — 472 с. ISBN: 978-5-383-00872-0



Д. С. Кузенёв, студ.; Д. В. Краюшкин, студ.; И. И. Журавлев, асп.;  
рук., к. т. н., доц. П. А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)

## МАТЛАБ-МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Асинхронные двигатели (АД) широко распространены в современном мире ввиду большого количества преимуществ. Однако данные устройства обладают проблемой, связанной с большими пусковыми токами [1]. Устройство плавного пуска (УПП) предназначается для ограничения пусковых токов двигателя. На сегодняшний день существует ряд решений по реализации УПП, одним из которых является разработка устройств плавного пуска на основе регулируемого трансформатора.

Принцип работы такого устройства плавного пуска АД заключается в дискретном изменении уровня напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Это осуществляется с помощью применения трансформатора с изменяемым коэффициентом трансформации [2]. Таким образом, регулирование напряжения на обмотках двигателя зависит от коэффициента трансформации трансформатора (1).

$$U_{\text{нагрузки}} = U_{\text{сети}} (1 - k), \quad (1)$$

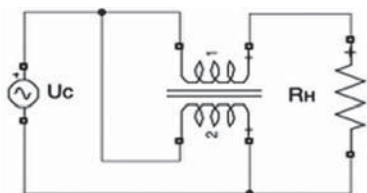


Рис. 1. Математическая модель УПП

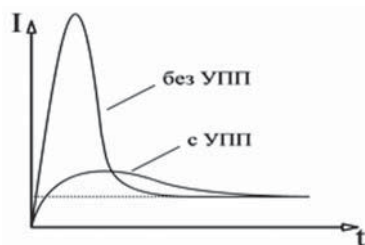


Рис. 2. Работа УПП

В данной работе была построена математическая модель схемы УПП в среде Matlab Simulink, представленная на рис. 1.

Проведен детальный анализ процессов, получены осциллограммы токов и напряжений. Рассмотрена зависимость регулирования коэффициента трансформации трансформатора от величины напряжения, прикладываемого к АД. Полученные результаты математического моделирования подтверждают аналитические расчеты. Модель обладает высокой дискретностью регулирования уровней напряжения, что обеспечивает существенное снижение пусковых токов. При этом устройство имеет чисто синусоидальный сигнал во всех узлах, что обеспечивает высокое качество передаваемой энергии.

### Литература

1. **Петров Л. П.** Асинхронный электропривод с тиристорными коммутаторами — М.: «Энергия», 1970
2. **Dmitry I. Panfilov, Petrov M. Igorevich, Ahmed E ELGebaly, Ivan I. Zhuravlev,** Multi-function AC Voltage Regulator for Connecting an Induction Motor to Alternating Power Supply // 21th International Conference of Young Specialists on Micro-/Nanotechnologies and Electron Devices June 29–July 3, 2020, Novosibirsk, Russia.

*Д. В. Краюшкин, Д. С. Кузенёв, студ.; И. И. Журавлев, асп.;  
рук. П. А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛЬ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТРАНСФОРМАЦИИ

Наличие высокой реактивной мощности при работе асинхронного двигателя (АД) от сети переменного напряжения накладывает определённые ограничения на его эксплуатацию. Такая мощность не расходуется на полезную работу АД, приводя к ухудшению качества питающей сети. Существующую проблему решают устройства компенсации реактивной мощности (КРМ). В данной работе представлен новый подход к реализации технологии построения КРМ на основе трансформатора с изменяющимся коэффициентом трансформации.

Реактивная мощность, генерируемая устройством, зависит от напряжения на конденсаторе и его величины реактивного сопротивления в соответствии с формулой (1).

$$Q = U_n^2 / X_c \quad (1)$$

При использовании постоянного значения величины емкости конденсатора, реактивная мощность компенсатора зависит только от напряжения, прикладываемого к обкладкам этого конденсатора [1].

В работе были проведены аналитические исследования, на основе которых построена математическая модель в программе MATLAB Simulink (рис. 1). По результатам моделирования КРМ, было выявлено, что мощность устройства зависит от коэффициента трансформации, причем габаритная мощность КРМ существенно ниже генерируемой реактивной. Такой компенсатор мощности обеспечивает широкий диапазон регулирования мощности [2]. Устройство не генерирует высших гармоник во всём диапазоне регулирования.

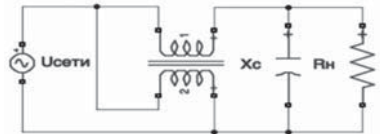


Рис. 1. Matlab модель КРМ

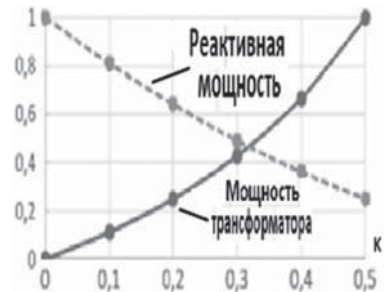


Рис. 2. Регулировочная характеристика

### Литература

1. **Рыжов Ю. П.**, Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения // гл. 5, стр. 152–173 // Издательский дом МЭИ 2007 год.
2. **Panfilov D.I., Petrov M.I., Zhuravlev I.I., Ahmed Elsayed ElGebaly** Multifunction AC Voltage Regulator for connecting an Induction Motor to Alternating Power Supply // 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices.

*А. В. Горчаков, асп.; рук., к.т.н., доц. П. А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ**

В современном мире задача регулирования напряжения силовых трансформаторов на распределительных трансформаторных подстанциях (ТП) класса 6–10/0,4 кВ посредством быстродействующих полупроводниковых устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ), обеспечивающих нормируемые показатели качества электроэнергии для потребителя, является актуальной в рамках развития энергетического комплекса в темпе прогресса.

При построении систем управления (СУ) ПУРНТ необходим особый подход, т. к. они должны иметь доступ как к стороне высокого напряжения (ВН), так и к стороне низкого напряжения (НН). В виду множества функций, возлагаемых на данные СУ, такие как: управление полупроводниковыми элементами (ПЭ) силового преобразователя в соответствии с различными алгоритмами управления и типами нагрузки, которая может иметь динамически изменяемый характер, осуществление диагностической обработки данных об отдельных ПЭ, мониторинг мгновенных значений токов и напряжений на сторонах ВН и НН, взаимодействие с системами высшего уровня (СВУ) посредством протокола МЭК 61850, разработка таких СУ имеет сложности, связанные с ограниченностью по вычислительной мощности микропроцессорных устройств.

Для разработки подхода к построению эффективных СУ ПУРНТ для ТП 6–10/0,4 кВ были разработаны и проанализированы различные варианты СУ, проработан функционал отдельных узлов и предложена общая структура СУ, обеспечивающая эффективность работы силовой части ПУРНТ и взаимодействия с СВУ цифровой распределительной сети.

Проверка эффективности работы СУ осуществлялась в рамках разработки и исследования опытных образцов ПУРНТ.

Разработка и исследования проводились в рамках реализации проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (Соглашение № 075-11-2019-060 от 6 декабря 2019 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

*Д. В. Краев, асп.; рук. Ф. А. Карамов, д.т.н., проф.  
(КНИТУ-КАИ имени А. Н. Туполева, Казань)*

## **АНАЛИЗ ЕМКОСТНОГО ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

Получение информации о давлении в жидких и газообразных средах занимает ведущее место в большинстве видов научного и технического эксперимента, играет основную роль в информационном обеспечении управления сложными технологическими процессами, что подтверждает большое количество средств измерений в Федеральном информационном фонде.

Цель работы состоит в анализе емкостного принципа измерения давления

Впервые данный принцип начали использовать в производстве в шестидесятых годах двадцатого века. В наше время емкостный сенсор — это конденсатор, образованный диэлектрической оболочкой сенсора, находящийся в прочном металлическом корпусе, измерительными электродами, предназначенными для выполнения функции обкладок конденсатора, и упругой мембраной (керамической или металлической).

Достоинствами данного принципа измерения являются: простота конструкции сенсора, очень хорошая чувствительность ( $\Delta C/C = 15 \dots 20\%$ ) и багаж знаний, собранный за время использования датчиков с емкостными сенсорами, а так же его разработки.

Обратной стороной данного принципа измерения являются: необходимость дополнительной обработки сигнала сенсора; нестабильность показания сенсора при прямом и обратном измерении давления от минимального до максимального (из-за мембраны, имеющей неидеальную упругость); температурное воздействие (за счет расширения элементов и изменения диэлектрической проницаемости); вибрационная чувствительность [1].

Эти недостатки (нелинейность, влияние температуры и отчасти давления) до определенной степени компенсируются в современных серийных микропроцессорных датчиках, путем калибровки.

По результатам анализа емкостного принципа измерения давления, можно сделать вывод, что данный принцип имеет сравнительно простую конструкцию сенсора и высокую чувствительность, имеющиеся недостатки устраняются применением микропроцессоров и заводской калибровкой.

### **Литература**

1. **Фрайден Дж.** Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. — 592 с.

А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

## АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА РЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент может подразделяться на пассивный и активный [1]. Проведение активного эксперимента часто требует больших затрат ресурсов: как финансовых, так и временных. Актуальной задачей является получение необходимых сведений об исследуемом объекте при минимальном количестве опытов. Научная новизна и практическая применимость заключается в проведении активного эксперимента для последовательной  $RLC$ -цепи в сочетании с методами планирования. Целью данной работы является исследование функций отклика  $RLC$ -цепи посредством применения полного факторного эксперимента.

В данной работе рассматривается неразветвленная  $RLC$ -цепь.

Параметры цепи:  $U_m = 360 \text{ В}$ ,  $f_0 = 60 \text{ Гц}$ , где  $U_m$  и  $f_0$  — амплитуда и частота входного сигнала соответственно. Для элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  определен диапазон изменения: сопротивление  $R$  изменяется от 18 Ом до 24 Ом, индуктивность  $L$  — от 22 мГн до 36 мГн, емкость  $C$  — от 33 мкФ до 45 мкФ.

На первом этапе вычислительного эксперимента строится матрица планирования, вычисляются значения откликов цепи (полная мощность и добротность). На втором этапе рассчитываются коэффициенты уравнений регрессии: линейного и учитывающего мультипликативную связь. На третьем этапе рассчитываются значения отклика полной мощности и добротности при подстановке кодированных значений факторов в уравнения регрессии. На четвертом этапе вычисляется среднеквадратическое отклонение.

Таким образом, определено, что при работе с последовательной  $RLC$ -цепью для получения таких откликов, как добротность и полная мощность, в заданном интервале варьирования факторов целесообразно использовать полиномиальную математическую модель с мультипликативной составляющей и обратить особое внимание на подбор номиналов тех элементов цепи, которые оказывают на неё наибольшее влияние.

Было определено, что в заданных интервалах варьирования факторов наибольшее влияние на добротность системы в уравнении регрессии с учётом мультипликативной связи оказывает величина сопротивления, а на полную мощность схемы — величина ёмкости.

### Литература

1. Асагурян В. И. Теория планирования эксперимента: Учеб. Пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1983. — 248 с.

А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИИ ДОБРОТНОСТИ RLC-ЦЕПИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью данной работы является проведение вычислительного эксперимента, позволяющего получить математическую модель, которая однозначно описывает функцию отклика. С помощью такой модели можно получить реакцию цепи на заданные входные факторы, а также описать кривую зависимости параметров колебательной системы, в данном случае сопротивления, индуктивности и ёмкости, изменяющихся в заданном диапазоне, на выходные параметры. За выходной параметр системы взята добротность. Зная отклик системы, можно спрогнозировать и определить во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан, что представляет собой определенный практический и научный интерес.

В данном исследовании рассмотрена неразветвленная последовательная RLC-цепь. Параметры цепи:  $U_m = 220$  В,  $f_0 = 50$  Гц, где  $U_m$  и  $f_0$  — амплитуда и частота входного сигнала соответственно. Для элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  определен диапазон изменения. Сопротивление  $R$  изменяется от 4 Ом до 6 Ом, индуктивность  $L$  — от 10 мГн до 15 мГн, емкость  $C$  — от 10 нФ до 20 нФ.

Вычислительный эксперимент проводился в несколько этапов. На первом этапе строится матрица планирования эксперимента и вычисляются значения отклика цепи (добротность). На втором этапе рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии [1], учитывающего мультипликативную связь. На третьем этапе рассчитывались значения отклика добротности при подстановке кодированных значений факторов в уравнение регрессии, учитывающее мультипликативную связь. На четвертом этапе вычислялось среднеквадратическое отклонение [2].

По полученным значениям СКО можно сделать вывод, что полином, учитывающий мультипликативную связь, наиболее точно описывает функцию отклика для цепи с факторами влияния в заданном интервале варьирования. Чем выше добротность, тем меньше потери энергии за каждый период и тем медленнее затухают колебания.

### Литература

1. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие / Н. И. Сидняев. — М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011. — 399 с.
2. Асагурян В. И. Теория планирования эксперимента: Учеб. Пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1983. — 248 с.

А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

## **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МЕЖДУЭЛЕКТРОДНЫХ ЁМКОСТЕЙ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

Разработка устройства, способного обнаруживать некачественные или поддельные силовые МДП-транзисторы, является актуальной задачей [1]. Научная новизна и практическая применимость данной работы заключается в разработке работоспособного макетного образца, в основе принципа работы которого лежит альтернативный способ измерения паразитных ёмкостей МДП-транзистора: метод, основанный на использовании заряда конденсатора источником тока на малую величину с последующим вычислением ёмкости при помощи средств микроконтроллера. Значения относительных погрешностей измерений должны находиться в пределах 5% выбранного диапазона измерения ёмкостей. Целью данной работы является оценка работоспособности устройства измерения паразитных ёмкостей мощных МДП-транзисторов.

В данной работе была создана схема моделирования в среде *Proteus 7.10*, а также произведена сборка опытного образца. В испытуемом устройстве для проведения измерений используются следующие МДП-транзисторы: *ZVN4210A*, *FCD5N60* и *IRL540*. Паспортные значения входных ёмкостей каждого 100 пФ, 470 пФ и 2200 пФ соответственно.

В результате данной работы на основании полученной в предыдущих исследованиях принципиальной схемы разработано функционирующее устройство, осуществляющее измерение паразитных ёмкостей мощного МДП-транзистора на основе микроконтроллера с выводом на индикацию. Целесообразность сборки была доказана работоспособностью схемы моделирования в среде *Proteus 7.10*. Определены относительные погрешности измерений  $\delta$ , которые не выходят за рамки допустимого диапазона значений. Это показывает, что создание готового макетного образца открывает возможность для дальнейшей разработки устройства. Прежде всего, это создание экспериментального образца, благодаря которому станет возможно изготовить образец продукции с целью более детального уточнения отдельных характеристик и решений.

### **Литература**

1. **Фомченков А. О., Рыбаков И. В., Амелин С. А.** Анализ возможности измерения паразитных ёмкостей МДП-транзистора способом заряда конденсатора от источника тока // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тез. докл.: XXVI международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. — с. 127.

*А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В АНАЛИЗЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ**

Прогнозирование поведения исследуемых выходных параметров электрических цепей при контролируемом изменении входных параметров в рамках установленного диапазона варьирования факторов является актуальной задачей, поскольку правильно поставленный вычислительный эксперимент способен рационализировать проведение активных экспериментов [1].

Научная новизна данной работы заключается в проведении полного факторного эксперимента, заключающегося в расчёте двух полиномиальных математических моделей для определения функции отклика величин выходного напряжения и затухания контура последовательной  $RLC$ -цепи в сочетании с методами планирования.

Целью работы является рассмотрение применимости полиномиальных математических моделей, лежащих в основе проведения полного факторного эксперимента в данном исследовании. В качестве признака для сравнения точности результатов применения той или иной модели используется величина среднеквадратического отклонения (СКО).

Параметры  $RLC$ -цепи:  $U_m = 420$  В,  $f_0 = 40$  Гц, где  $U_m$  и  $f_0$  — амплитуда и частота входного сигнала соответственно. Для элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  определен диапазон изменения: сопротивление  $R$  изменяется от 130 Ом до 180 Ом, индуктивность  $L$  — от 100 мГн до 120 мГн, емкость  $C$  — от 96 нФ до 120 нФ.

На первом этапе вычислительного эксперимента строится матрица планирования, вычисляются значения откликов цепи (выходное напряжение и затухание). На втором этапе рассчитываются коэффициенты уравнений регрессии: линейного и учитывающего мультипликативную связь. На третьем этапе рассчитываются значения отклика выходного напряжения и затухания при подстановке кодированных значений факторов в уравнения регрессии. На четвертом этапе вычисляются СКО.

Таким образом, линейный полином не применим, так как его значения СКО для величины выходного напряжения приблизительно в три раза превышают значения, полученные при применении полинома с учётом мультипликативной связи, модель которого адекватна, а для величины затухания — приблизительно в два раза с учётом проведённого округления.

### **Литература**

1. **Асагурян В. И.** Теория планирования эксперимента: Учеб. Пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1983. — 248 с.



*И. В. Рыбаков, А. О. Фомченков, студенты;  
рук. В. А. Смолин, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ ГАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ НА ТЕРМОПАРНЫХ ПРИЁМНИКАХ**

Актуальность данной разработки связана с необходимостью применения наиболее точных и простых в реализации решений для подбора и контроля основных параметров датчиков, используемых при разработке газоаналитической техники. Данная работа посвящена разработке отладочной платы для датчиков-детекторов углеводородов в воздухе и газовых смесях.

На данный момент наиболее простыми в проектировании и применении являются методы детектирования газовых примесей, основанные на использовании датчиков на термопарных приёмниках. При разработке может возникнуть трудности обработки выходных сигналов датчика. А именно подбора уровней усиления и смещения сигналов опорного и рабочего каналов датчика. Разрабатываемая отладочная плата обладает необходимым функционалом для подбора данных параметров, а также позволяет производить оцифровку и анализ выходных сигналов используемых датчиков.

Разрабатываемое устройство включает в себя следующие основные элементы: источник излучения (излучение от источника проходит через детектируемую газовую среду), ИК датчик, микросхему *LMP91051* с программно конфигурируемым интегрированным аналоговым интерфейсом (ИАИ) [1], микроконтроллер.

Разрабатываемая схема рассчитана на использование двухканальных ИК датчиков без встроенного усиления выходного сигнала. Также в составе датчиков может быть термистор для ввода поправки на температуру окружающей среды при расчёте концентрации газа. Температурный выход датчика поступает на вход АЦП микроконтроллера для дальнейшей обработки.

Таким образом, был разработан прототип устройства отладочной платы, который позволяет подбирать требуемые для точного определения концентрации газа параметры усиления и смещения выходного сигнала различных датчиков на термопарных приёмниках.

### **Литература**

1. **Микросхема LMP91051.** Техническое описание [Электронный ресурс]. Режим доступа (свободный): <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp91051.pdf?ts=1588842551727> (Дата обращения 03.09.20)

*А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МЕЖДУЭЛЕКТРОДНЫХ ЕМКОСТЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРА**

Актуальной задачей при выявлении контрафактных силовых МОП транзисторов [1] является разработка устройства, позволяющего проводить измерения междуэлектродных емкостей МОП-транзистора. Такой прибор, в первую очередь, должен быть ориентирован не только на крупные организации, но и оставаться доступным для небольших ремонтных мастерских и начинающих радиолюбителей, при этом обладая достаточной точностью измерения. Научная новизна и практическая применимость данной работы заключается в разработке принципиальной схемы прибора, в основе принципа работы которого лежит альтернативный способ измерения паразитных емкостей МОП-транзистора: метод, основанный на использовании заряда конденсатора на малую величину с последующим вычислением ёмкости при помощи средств микроконтроллера.

Целью данной работы является разработка принципиальной схемы устройства, осуществляющего измерение междуэлектродных емкостей МОП-транзистора на основе микроконтроллера с выводом на индикацию.

Для достижения поставленной цели в статье описываются такие задачи, как разработка структурной, функциональной, принципиальной схемы устройства и программного обеспечения для используемого микроконтроллера.

В результате данной работы разработана структурная схема устройства, осуществляющего измерение междуэлектродных емкостей МОП-транзистора на основе микроконтроллера с выводом на индикацию, и определена взаимосвязь между блоками структурной схемы. Также разработаны функциональная и принципиальная схемы устройства и описан алгоритм работы программы измерения неизвестной входной ёмкости  $C_{iss}$  исследуемого МОП-транзистора с выводом информации на дисплей текстового ЖКИ.

### **Литература**

1. **Фомченков А. О., Петрусев О. И., Амелина М. А.** Анализ методов измерения паразитной емкости полевого транзистора // Энергетика, информатика, инновации — 2019 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптотехника): Сб. трудов: IX-я международная научно-техническая конференция — Смоленск: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. — 2019. — В 2-х т. Т 1. — с. 559–563.

А. О. Фомченков, И. В. Рыбаков, студенты;  
рук. А. А. Каткова, ст. преп. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Безопасность эксплуатации инженерных сооружений и оборудования, таких как высотные здания, мосты, линейные элементы несущих конструкций и так далее, является актуальной темой для исследований. Деформация — это наиболее значимый параметр, подлежащий контролю [1]. Мониторинг деформаций этих сооружений является одной из областей применения высокоточных геодезических методов и средств измерений. Поэтому отслеживание структурных деформаций и активных реакций на многочисленные внешние нагрузки является актуальной задачей и имеет большое значение для поддержания функционирования инженерных сооружений.

Целью работы является разработка модели электронной схемы устройства для мониторинга деформации жёсткой балки, отображающего на цифровых индикаторах изменение в диапазоне от 0 до 500 единиц относительной деформации с точностью измерения 0,45% и учётом удаления от контролируемого объекта на расстояние 10 метров.

Основными элементами разрабатываемого устройства являются: блок управления, предназначенный для запуска устройства; блок датчиков, по выходному сигналу которого проводится мониторинг деформации жесткой балки; блок усиления, необходимый для усиления выходного сигнала и его согласования с аналогово-цифровым преобразователем; блок преобразования, предназначенный для преобразования аналогового сигнала в цифровой.

В ходе выполнения работы разработаны электрическая структурная, функциональная и принципиальная схемы устройства. Также проведено имитационное моделирование при помощи программного обеспечения *Proteus*. Определена относительная погрешность измерений.

По полученным результатам можно сделать вывод, что устройство работает корректно. Также следует отметить, что в целях минимизации финансовых затрат на электронные компоненты и упрощения процесса сборки, исключения сложности технической реализации данного устройства представляет интерес рассмотренный вариант его реализации на основе микроконтроллера.

### **Литература**

1. **Марченко А. Л.** Основы электроники. Учебное пособие для вузов — М.: ДМК Пресс, 2008. — 296 с.

*Р. Т. Бакиров, асп.; рук. Ю. К. Евдокимов, д.т.н., проф.  
(КНИТУ-КАИ имени А. Н. Туполева, Казань)*

## **АНАЛИЗ ПЬЕЗОРЕЗИСТИВНОГО ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

Контроль давления в измеряемой среде является неотъемлемой частью различных структур, будь то нефтяная или газовая промышленность, пищевая или медицинская, благодаря этому преобразователей давления необычайно много.

Цель работы состоит в анализе пьезорезистивного принципа измерения давления.

Многие производители датчиков, а особенно в России заинтересованы интегральными чувствительными элементами на базе монокристаллического кремния, данные преобразователи обладают хорошей стабильностью по времени и температуре, по сравнению со средствами измерений на базе КНС (кремний на сапфире). Кристалл является его чувствительным элементом, установленным на основании и диэлектрическим свойством на основе легкоплавкого стекла или по принципу анодного сращивания.

Достоинствами данного принципа измерения являются: небольшой гистерезис; вибрационная стойкость; однородность чувствительной мембраны.

Обратной стороной данного принципа измерения являются: небольшая чувствительность (2–5%); относительно большая температурная зависимость; зависимость от статического давления; недостаточная стабильность; нелинейность [1].

Многие недостатки, путем калибровки, компенсируются в современных датчиках.

По результатам анализа пьезорезистивного принципа измерения давления, можно сделать вывод, что данный принцип имеет небольшой гистерезис, вибрационную устойчивость и однородность чувствительной мембраны, устраняемые недостатки — калибровкой.

### **Литература**

1. **Мокров Е. А.** Интегральные датчики // Датчики и системы. 2000. — № 1.

*Д. В. Краюшкин, В. В. Кох, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. П. А. Казначеев, к.т.н., ст.н.с. (ИФЗ РАН)*

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ LABVIEW

Автоматизированные системы важны в разных задачах науки и техники, например, при лабораторных измерениях физических параметров горных пород в широком диапазоне частот, определении амплитудно-частотных передаточных характеристик электрических цепей и электроакустических систем.

Была поставлена задача: разработать на основе широкодоступного оборудования автоматизированную систему управления источником и измерительным устройством. Система должна генерировать сигнал на входе тестируемого объекта и измерять сигнал на выходе. Основные измеряемые параметры — амплитуды и временные задержки сигналов. Изменение частоты тестового сигнала должно происходить в автоматическом режиме.

В данной работе аппаратная часть состояла из генератора сигналов произвольной формы Rigol, усилителя сигнала и цифрового осциллографа Owon. Математическая модель сигнала и управление приборами формирования и захвата было реализовано в программной среде для автоматизации научных исследований

LabVIEW. На рисунке 1 представлена структурная схема, демонстрирующая взаимосвязь узлов системы.



Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы

В тестовом эксперименте, в котором излучателем являлся динамик, а приёмником — микрофон, сформированный по модели сигнал передавался в генератор по протоколу SCPI с помощью средств LabVIEW. Далее, уже зарегистрированный осциллографом сигнал передавался в ПК по этому же протоколу, где производилось измерение его параметров для построения необходимых характеристик. Результаты представлены на рис. 2.

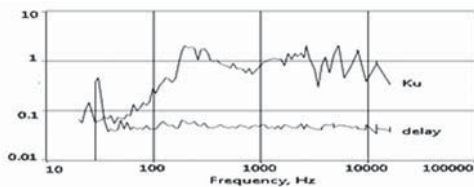


Рис. 2. Частотные характеристики, определённые в тестовом эксперименте

*К. В. Черкалина, студ.; рук. Д. А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОРРЕКТОРАМИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ**

С развитием электроники и увеличением количества пользователей электросети, возросло и требование к качеству сети, а также к наличию в электрооборудовании корректоров коэффициентов мощности (ККМ) с целью уменьшить искажения сети. Задача управления ККМ одна из самых сложных, т.к. подразумевает в себе управление одновременно двумя контурами обратной связи: стабилизация выходного напряжения и приближение фазового сдвига между током и напряжением источника к нулю [1, 2]. В настоящее время широкое применение нашли цифровые системы управления, т.к. с развитием технологий все чаще требованием к электронным устройствам является наличие одного или нескольких стандартных протоколов связи, что достаточно сложно реализовать аналоговыми средствами. К тому же цифровые системы, построенные на основе микроконтроллеров, являются более гибкими (не зависят от топологии схемы и уровня измеряемых параметров). Микроконтроллеры, в свою очередь, имеют встроенные модули АЦП и ШИМ и встроенные модули передачи информации (UART, SPI и I2C), что упрощает принципиальную схему устройства.

В данной работе производится разработка и исследования универсальной платы управления однофазным корректором коэффициента мощности. Работа включает в себя анализ способов управления и разработку универсальной платы управления. Разработка и исследование выполнены в три этапа: подбор цифровых средств в зависимости от задач, моделирование устойчивости системы, практическая реализация и сравнительный анализ реальных и теоретических данных.

### **Литература**

1. **В. И. Мелешин, Д. А. Овчинников** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии // Техносфера, 2011.
2. **A. Inba Rexy, R. Seyezhai** Investigation of Current Control Techniques of AC-DC Interleaved Boost PFC Converter // Circuits and Systems, 2016, 7, 307–326.

*О. И. Игнатъев, студент;  
рук. П. А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ТОПОЛОГИИ СИММЕТРИРУЮЩИХ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

В настоящее время существует проблема качества электроснабжения в четырехпроводных распределительных электрических сетях сельской местности. Потребление тока с низким качеством негативно влияет на качество напряжения сети и приводит к ухудшению технико-экономических показателей передачи электроэнергии, росту излишних потерь и снижению надёжности.

Основная причина этих отклонений заключается в большой удаленности потребителей от трансформаторных подстанций. расстояние от трансформаторной подстанции до наиболее удаленного потребителя может варьироваться от 1 до 2 км. Проблемой в данных сетях, является несимметрия напряжений. Причиной несимметрии напряжения является несимметрия нагрузок потребителей, что приводит к возникновению токов обратной последовательности и токов нулевой последовательности.

Одним из способов повышения качества электроэнергии является применение симметрирующих вольтодобавочных устройств (бустер-балансировщик). Принцип их работы заключается в добавлении к сетевому напряжению добавочного напряжения для поддержания напряжения на выходе на номинальном уровне, а также симметрирование входных токов устройств, что должно привести к перераспределению энергий между фазами, тем самым повышая качество электроэнергии у потребителей до установки устройства.

Вольтодобавочная часть включает в себя активный выпрямитель, нагруженный на DC-DC преобразователь с гальванической развязкой и мостовой инвертор с трансформатором на каждую фазу. Симметрирующая часть симметрирующего вольтодобавочного устройства с рекуперацией выполняется на основе трёхфазного активного выпрямителя, который имеет различные схмотехнические исполнения. В данном случае применяется трехфазный мостовой инвертор с дополнительным полумостом.

*В. В. Кох, студ.; Д. В. Мостовой, асп.;  
П. А. Рашитов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

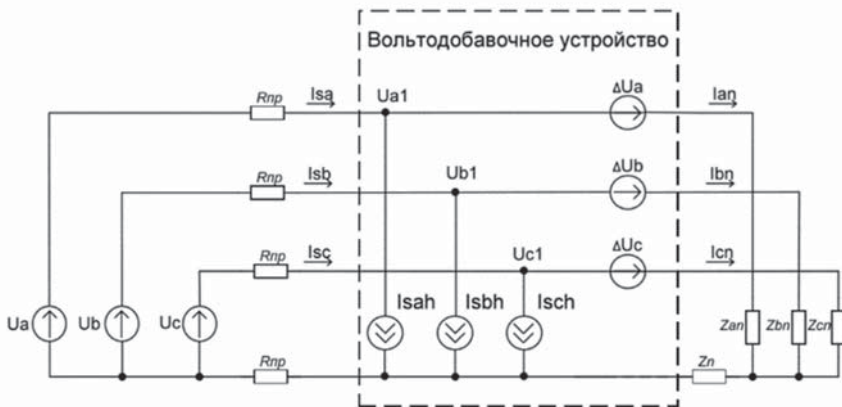
## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В MATLAB SIMULINK**

В настоящее время для решения проблемы обеспечения качества электропитания в четырехпроводных распределительных электрических сетях предлагаются способы увеличения качества электроснабжения с помощью добавления в линию вольтодобавочных симметрирующих устройств.

Для проведения анализа влияния вольтодобавочных симметрирующих устройств на параметры качества электрической энергии различных потребителей в распределительной сети необходимо разработать управляемые аналитические модели. Аналитические модели представляют собой зависимые источники тока и напряжения.

Данные модели, построенные в MATLAB Simulink, позволяют:

1. Проверить эффективность вольтодобавочных симметрирующих устройств для заданного количества потребителей и разных комбинаций сопротивлений нагрузок, учитывая их несимметричный характер.
2. Сделать сравнительный анализ различных вольтодобавочных симметрирующих устройств, найти наиболее эффективный из них.



**Рис. 1.** Аналитическая модель вольтодобавочного симметрирующего устройства

В работе проводится создание аналитических моделей с помощью среды MATLAB Simulink, таких как: бустер, симметрирующее вольтодобавочное устройство без возможности рекуперировать энергию обратно в сеть и симметрирующее вольтодобавочное устройство с возможностью рекуперировать энергию обратно в сеть.



*П. А. Самарин, студ.; рук. Д. А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ТОПОЛОГИИ ИВЭП НА ОСНОВЕ ПОТЕРЬ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

В настоящее время, существует множество различных схем построения полупроводниковых однофазных двухтактных ИВЭП (источника вторичного электропитания) класса DC/DC [1, 2]. Множество топологий дорабатываются и модернизируются, и при разработке прибора ИВЭП у разработчиков не редко возникает вопрос, какая топология наиболее эффективная для выбранных ими параметров. Разработанная методика выбора топологии ИВЭП и его расчета позволяет разработчику определить наиболее оптимальную схему DC/DC преобразователя, основываясь на предварительно выбранных им параметрах, а также потерях в полупроводниковых и электромагнитных элементах преобразователя.

В работе определены основные критерии сравнения и разработана методика выбора и расчета схем однофазных двухтактных DC/DC. Разработанная методика выбора топологии ИВЭП представляет собой расчет основных электрических параметров преобразователя, расчет потерь на полупроводниковых и электромагнитных элементах. Основными критериями сравнения являются статические и динамические потери в полупроводниковых элементах DC/DC преобразователя [3], и потери в магнитных элементах преобразователя. Также методика сравнения содержит в себе моделирование рассматриваемых схем, точность которого подтверждается математическим аппаратом, применяемым для определения потерь мощности в полупроводниковых элементах преобразователя. Кроме того, в работе приведено применение данного алгоритма для разработки нескольких однофазных схем класса DC/DC [1, 2] при заданных начальных условиях.

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005
2. **Мелешин В. И., Овчинников Д. А.** Управление транзисторными преобразователями энергии. М.: Техносфера, 2011.
3. **Асташев М. Г., Новиков М. А., Рашитов П. А., Серегин Д. А.** Автономные преобразователи. Расчет режимов работы и выбор элементов. М.: Издательство МЭИ, 2018.

*В. А. Кулик, студ.; рук. Д. А. Серёгин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **УНИФИКАЦИЯ УЗЛОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

В данной работе поставлена и решена задача исследования возможности унификации узлов преобразователя, а также задача разработки и исследования универсального силового модуля в составе: силовой ключ — драйвер — датчики — система управления [1, 2, 3, 4]. Помимо этого, исследованы вопросы и предложена методика применения линейки универсальных силовых модулей для принципиального упрощения и ускорения разработки преобразователей. Показана эффективность такого подхода.

Унификация изделий — приведение изделий к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей. Суть принципа унификации конструкций изделий заключается в ограничении многообразия возможных частных индивидуальных решений на всех этапах проектно — конструкторской деятельности рамками общих свойств и признаков, приводящих изделие к единой системе типовых конструкций. Новое качество изделий достигается заменой, добавлением, изъятием, перестановкой составных частей, обладающих свойством совместимости [5].

Актуальность унификации узлов преобразователей заключается в упрощении и удешевлении производства; в ускорении разработки принципиальной схемы и конструкции преобразователя; в повышении надежности преобразователя за счет использования сравнительно небольшого набора хорошо отработанных узлов.

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная техника, Техносфера, 2015.
2. **Попков О. З.** Основы преобразовательной техники, М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. **Рег Д., Сартори Г.** Промышленная электроника, М.: ДМК Пресс, 2011.
4. **Мусканьгинев В., Червенков В.** Унифицированная серия драйверов для IGBT силовых модулей // Силовая электроника № 3'2006.
5. **Громов Д. В., Суяков С. А.** Преобразование подобного в подобное в системах измерения и управления // ИСУП, № 1(37)'2012.

*Е. И. Карпов, студент; Д. А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИСТОЧНИКОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД С ВЫСОКИМ КПД**

Работа заключалась в сравнительном анализе схемных решений преобразователей постоянного напряжения в постоянное в различных режимах работы с целью определения оптимальных решений для устройств электропитания автоматики.

В применяемых моделях были использованы идентичные параметры, в частности значения ёмкости и индуктивности в резонансном контуре, одинаковые параметры транзисторов, диодов и трансформатора. При условии передачи заданной мощности и стабилизации выходного напряжения каждая из схем была сравнена по выделяемой на ключах и диодах мощности потерь.

При питании преобразователя постоянного напряжения (ППН) 280 В для выходной мощности в 100 Вт, лучшие показатели (наименьшие потери) имеет схема полумостового преобразователя, работающего на частоте выше частоты резонанса. Для того же напряжения питания, но выходной мощности 200 Вт, предпочтительна оказалась работа при частоте ниже резонанса.

При питании ППН от напряжения 380 В и выходной мощности 100 Вт, наименьшие потери имеет схема мостового преобразователя, работающего ниже частоты резонанса. Для мощности 200 Вт подходит полумостовая схема с тем же режимом работы. С напряжением питания 600 В лучшие показатели имеет мостовая схема, работающая ниже частоты резонанса. Однако при питании 800 В та же схема имеет меньшие потери при работе выше частоты резонанса.

Таким образом, показано, что наилучшие показатели будут достигаться при использовании полумостового преобразователя для питания не более 380 В, а для напряжения больше 380 В лучшие показатели КПД будет иметь схема мостового преобразователя.

### **Литература**

1. **Мелешин В.** Транзисторная преобразовательная техника, 2006. 632 с. ISBN 5-94836-051-2.
2. **Глебов, Жигачев.** Мостовой резонансный DC/DC-преобразователь с дополнительным трансформатором // Электросвязь. — 2016. — № 2. 83–87 с.
3. **Царенко А., Серегин Д. А.** К вопросу построения мощных DC/DC-преобразователей, питающихся от низковольтных сетей // Силовая электроника. — 2006. — № 3. 68–72 с.

*Л. А. Серебрякова, студ.; И. И. Журавлев, асп.;  
рук., д.т.н., проф. Д. И. Панфилов (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАКЕТА УПРАВЛЯЕМОГО ЕМКОСТНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

Устройства, обеспечивающие воздействие на физические параметры электрических сетей с помощью введения дополнительного регулируемого реактивного сопротивления, называются устройствами продольной компенсации (УПК). УПК могут представлять из себя батареи конденсаторов, тиристорно-управляемые реакторы (ТУР), а также могут быть выполнены на основе трансформатора [1].

При разработке управляемых устройств продольной компенсации важно уменьшать их массогабаритные показатели. С этой целью были разработаны различные инновационные топологии построения схем малогабаритных устройств продольной компенсации (МУПК) на основе трансформатора с секционированной одной из его обмоток и тиристорного коммутатора [2].

Для анализа процессов в предлагаемых схемах были разработаны аналитические и имитационные математические модели различных топологий схем МУПК, с помощью которых была выбрана конечная схемотехника устройства.

На основе аналитических и математических имитационных моделей схем построения управляемых малогабаритных устройств продольной компенсации разработан физический макет емкостного управляемого МУПК. В результате исследования режимов работы устройства были получены временные диаграммы, подтверждающие справедливость данных, описанных при имитационном моделировании схемы.

### **Литература**

1. **Рыжов Ю. П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. Учебник для вузов. — Изд. дом МЭИ, 2007.
2. **Dmitry I. Panfilov, Michael G. Astashev, Ivan I. Zhuravlev**, Distributed Series Impedance Devices Based on Controlled Transformer // 20th International 10.2018–02.2019 31 Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices June 29–July 3, 2019, Novosibirsk, Russia

*А. М. Крутов, студ.; рук. А. Н. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА БАЛАНСИРОВКИ ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

Для сохранения высокой эффективности и работоспособности литий-ионных аккумуляторных батарей (АКБ) необходимо в процессе эксплуатации балансировать литий-ионные элементы по уровню заряженности [1]. Данный процесс осуществляется системой балансировки, которая способна обеспечить не только выравнивание напряжения, но и осуществлять мониторинг за состоянием каждой ячейки АКБ для защиты и оценки степени износа.

Тяговые литий-ионные АКБ для современных электромобилей выполняются на напряжения от 300 В и выше. Применение высокого напряжения позволяет снизить токи потребления при сохранении необходимой мощности и как следствие снизить сечение проводов и шин.

В результате применения беспроводной системы балансировки можно снизить количество разъемных соединений, уменьшить количество проводов, а, следовательно, и массу АКБ, исключить необходимость сегментирования АКБ на блоки более низкого напряжения, увеличить скорость производства и настройки АКБ. Так в случае параллельного соединения последовательных групп ячеек возможно контролировать состояние каждой отдельной ячейки.

В работе рассматриваются способы построения беспроводной сети датчиков (WSN) внутри АКБ. Проводится анализ таких стандартов передачи, как Bluetooth и ZigBee, так же рассматривается возможное создание собственного специализированного стандарта. Уделяется внимание топологии сети, поскольку сеть должна обладать низким энергопотреблением и высокой надежностью. Проводится моделирование способов быстрого конфигурирования сети в процессе сборки АКБ. Рассматриваются способы присвоения каждой паре литий-ионный элемент — датчик уникального номера или QR кода.

Важным требованием к отдельному балансирующему модулю является работа в широком диапазоне напряжения литий-ионного элемента. В зависимости от элемента, напряжение может находиться в диапазоне от 2 В до 4,5 В. В работе проводится моделирование схем в средах MATLAB Simulink и LTSpice.

### **Литература**

1. **Andrea D.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, Artech, 2010.

*Д. А. Михайлиди, студ.; А. В. Горчаков, асп.;  
рук. П. А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ ДРАЙВЕР С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ВЫСОКИМ КПД**

В настоящее время, в современных устройствах силовой высоковольтной электроники, в качестве ключей переменного тока применяется двунаправленный тиристорный ключ, состоящий из двух встречно-параллельно включённых тириستоров.

Управление таким ключом осуществляется драйвером, устройством преобразующем сигнал напряжения от системы управления в два токовых сигнала гальванически развязанных друг от друга. Проблемой управления, является подача управляющего импульса на каждый тиристор в модуле относительно своего катода, а также обеспечение протекания тока порядка сотен мА в цепи управляющего электрода. Одним из способов реализации гальванической развязки является применение высокочастотного трансформатора и токоограничивающей схемы. Самым простым способом ограничения тока, является включение резистора в цепь управляющего электрода. В процессе протекания тока через резистор, выделяется мощность потерь, что приводит к его нагреву, и КПД такого решения составляет менее 30%.

Одним из требований к драйверу тиристора, является долгий срок службы. Срок службы и надежность работы драйвера зависит от его теплового режима работы. Оптимальный тепловой режим работы достигается повышением КПД. Одним из способов уменьшения нагрева драйвера является применение в качестве токоограничивающего элемента индуктивность. В индуктивности импульсным способом задают нужную величину тока и поддерживают его значение с малыми пульсациями. При таком подходе, мощность потерь в виде тепла будет выделяться только на переключающих элементах и на активном сопротивлении индуктивности, которое существенно меньше сопротивления токоограничивающего резистора. Такая реализация двухканального драйвера позволяет снизить общий объем тепловыделения в системе управления, и тем самым, осуществить более плотную и компактную компоновку элементов системы управления.

*Е. А. Нестеренко, студ.,  
П. А. Рашитов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПОСТРОЕНИЕ МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В настоящее время, высоковольтные установки применяются в различных отраслях промышленности и науки. Высокие напряжения, применяются в металлургии, при обработке металлов, нанесений покрытий, а также, для резки и плавки металлических заготовок.

Для получения высоких уровней выходного напряжения можно использовать топологии преобразователей, основанные на высоковольтных трансформаторах и умножителях напряжения, пример подобной топологии представлен на рисунке 1.

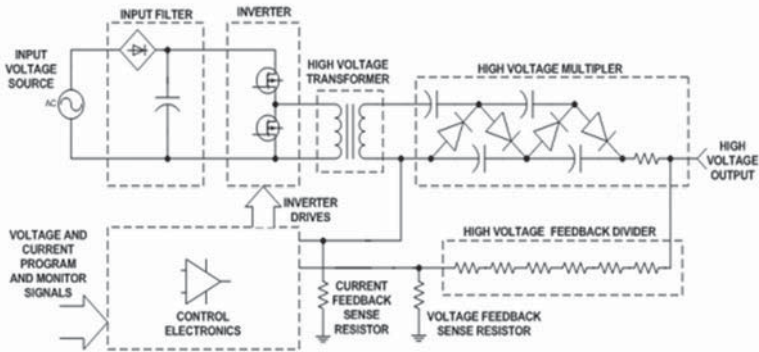


Рис. 1. Структурная схема высоковольтного источника напряжения

У данной топологии есть ряд определенных недостатков. Здесь необходимо предоставлять довольно жесткие требования к высоковольтному трансформатору, т. к. он должен обеспечивать надежную гальваническую изоляцию питающей сети и цепи нагрузки. Схема, основанная на умножителях, не может обеспечить хороший уровень пульсаций выходного напряжения и не подходит для питания, например, импульсной нагрузки. Также, данную схему сложно масштабировать для получения больших значений выходного напряжения или тока.

На рисунке 2 представлена блок-схема высоковольтного источника напряжения, построенного по топологии токовой петли.

Данная топология позволяет получить более высокие значения выходного тока, в сравнении с топологией с рисунка 1. Ее проще масштабировать и она позволяет работать на больших значениях выходной мощности, что более предпочтительно, когда речь заходит о применении ее в промышленности.

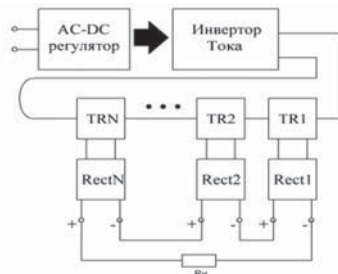


Рис. 2. Блок-схема высоковольтного источника напряжения

*М. А. Кузнецов, студ.;  
рук. М. И. Петров, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ-СТАБИЛИЗАТОРОВ УРОВНЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ**

В настоящее время в электрических сетях России особое внимания уделяется проблемам обеспечения качества электрической энергии. Это в первую очередь обусловлено тем, что существующие линии электропередачи (ЛЭП) в своем большинстве сконструированы по нормам и требованиями актуальным в 70–80 года 20 века. Следует отметить, что активное развитие технического прогресса определяет устойчивый количественный рост нагрузок бытового и промышленного сектора, потребляющих энергию переменного тока. Это в первую очередь приводит к ухудшению качества электрической энергии трехфазной сети, одними основных показателей которого являются уровень действующего значения напряжения и симметрия трехфазного напряжения.

Применение устройств и систем регулирования уровня переменного напряжения для решения задач стабилизации уровня переменного напряжения в рамках государственных стандартов является одним из действенных и наименее затратных способов устранения проблем качества электрической энергии.

Применение такого класса устройств позволяет в нагрузке, помимо решения задач стабилизации уровня переменного напряжения, устранить несимметричный режим работы трехфазной сети. Известно, что несимметричный режим работы может значительно сократить жизненный цикл оборудования, значительно ускорить его замену и значительно увеличить затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание системы. Кроме того, для трехфазной четырехпроводной системы несимметрия напряжения может вызвать появлению тока в нейтрали, ведущего к появлению напряжения смещения нейтрали.

Однако, за счет изменения величины отбора мощности от источника питания требуемого для стабилизации уровня напряжения несимметрия на входе регулятора-стабилизатора ухудшается. Это приводит к появлению тока несимметрии и к смещению точки нейтрали и вытекающим проблемам связанных с несимметричным режимом работы.

В работе исследуется проблема появления несимметричных режимов работы в трехфазной сети при применении регуляторов-стабилизаторов уровня переменного напряжения, и пути их устранения.



*А. С. Стансков, студент; Д. А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНЫХ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ОТ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ МОЩНОСТИ**

Предметом данной работы является сравнительное исследование схемных решений мощных DC/DC преобразователей с питанием от низковольтных источников. Целью работы является выбор оптимальной схемы мощного DC/DC преобразователя, обеспечивающей минимальные потери мощности на полупроводниковых приборах и достижение максимально возможного КПД устройства.

Исследование включает в себя аналитический расчет и численное моделирование преобразователей с целью сравнения статических и динамических потерь мощности на полупроводниковых элементах.

Рассмотрена схема DC/DC-преобразователя, построенного на базе инвертора со средней точкой первичной обмотки силового трансформатора. Особенностью данной схемы является необходимость вывода энергии, накапливаемой в индуктивности рассеивания силового трансформатора на этапах проводимости силовых транзисторов. Для вывода энергии в схеме необходимы дополнительные элементы, иначе может произойти бросок напряжения, что приведет к выходу из строя силовых полупроводниковых ключей инвертора [2]. Аналогично, рассмотрен преобразователь, построенный на базе инвертора, выполненного по мостовой схеме.

В применяемых моделях были использованы идентичные параметры. При условии передачи заданной мощности в нагрузку и стабилизации выходного напряжения схемы были сопоставлены по выделяемой на управляемых ключах и диодах мощности потерь. В завершении исследования для нескольких вариантов схемных решений преобразователей проанализированы их плюсы и недостатки, сделаны выводы о работе и актуальности каждой из схем для определенных условий.

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная техника. — М.: Техносфера, 2005.
2. **Царенко А., Серегин Д.** К вопросу построения мощных DC/DC-преобразователей, питающихся от низковольтных сетей // Силовая электроника. Тематическое приложение к журналу «Компоненты и технологии». — Санкт-Петербург: Издательство Файнстрит. 2006. — № 3. — С. 68–72.

*Н. А. Полищук, А. Д. Юрченков, студенты;  
рук. С. В. Дроздецкий, асс. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ОДНОТАКТНОГО ПРЯМОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

С помощью моделирования при разработке импульсных преобразователей можно оценить правильность расчета силового контура без построения макета на реальных компонентах. Для устойчивой работы преобразователя необходимо построить непрерывную модель и синтезировать корректирующие звенья.

Для построения непрерывной модели преобразователя необходимо составить системы уравнений работы преобразователя на интервале импульса и интервале паузы [1]. Затем необходимо вывести среднее за период коммутации напряжение на дросселе и ток конденсатора. Таким образом, получаем для однотактного прямоходового преобразователя (ОПП) следующую систему уравнений [2]:

$$\begin{cases} \frac{U_{\text{вх}} \cdot D}{K_{\text{тр}}} = U_{L\phi} + U_C \\ I_{L\phi} = I_C + I_H, \end{cases}$$

где  $U_{\text{вх}}$  — напряжение на входе преобразователя;  $D$  — коэффициент заполнения;  $K_{\text{тр}}$  — коэффициент трансформации;  $U_{L\phi}$  — напряжение на дросселе;  $U_C$  — напряжение на конденсаторе.

По полученной системе уравнений можно построить непрерывную модель, однако для этого также необходимо рассчитать параметры силового контура преобразователя. Источник входного напряжения реализован с учетом коэффициента заполнения и коэффициента трансформации. Выходные дроссель и конденсатор реализованы с учетом паразитных сопротивлений. Данная непрерывная модель является универсальной для всех ОПП. Пользователю необходимо задать входное напряжение, число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, желаемое выходное напряжение и номиналы элементов силового контура (выходные дроссель, конденсатор и нагрузочный резистор). Также в данной непрерывной модели учтен коэффициент передачи ШИМ.

Далее, необходимо получить частотные характеристики, оценить устойчивость системы и осуществить коррекцию [3].

Таким образом непрерывная модель позволяет провести проверку правильности расчета номиналов компонентов силового контура преобразователя, провести синтез корректирующих звеньев, а также облегчить последующую реализацию преобразователя на макетной плате и в виде печатной платы.

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Получение непрерывной линейной модели силовой части импульсного преобразователя как начальный этап проектирования его динамических свойств [Текст] / В. Мелешин // *Электричество*. — 2002. — № 10.
2. **Семенов Б. Ю.** Силовая электроника: от простого к сложному [Текст] / Б. Ю. Семенов — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. — 416 с.
3. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Sim Power Systems и Simulink. — М.: ДМК Пресс, 2007. — 288 с.

*Р. К. Акмуратов, студ.; М. А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОДНОФАЗНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА С ФУНКЦИЕЙ КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОУРОВНЕВОГО DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

На сегодняшний день, зарядные устройства для Li-ion аккумуляторной батареи (АКБ) являются одними из самых распространенных источников питания и применяются в различных отраслях промышленности. При разработке зарядного устройства накладываются требования по электромагнитной совместимости и правила устройства электроустановок. Поэтому, чаще всего, зарядное устройство состоит из двух каскадов. Первый каскад представляет собой корректор коэффициента мощности (ККМ), позволяющий обеспечить высокое качество потребляемого тока. В качестве второго каскада применяют DC-DC преобразователь, позволяющий получить требуемые выходные параметры и гальваническую развязку для безопасной работы с оборудованием.

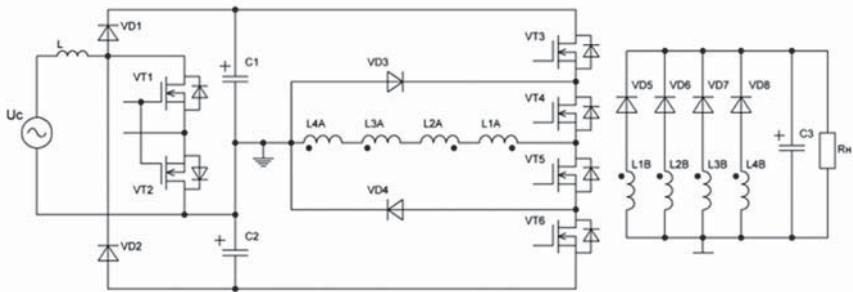


Рис. 1. Схема зарядного устройства

В работе рассматривается зарядное устройство 24 В 60 А, состоящее из двухполярного ККМ с дросселем переменного тока и многоуровневого DC-DC преобразователя с 4-мя дроссель-трансформаторами, а также описан принцип его работы.

Для рассматриваемого устройства проведен аналитический расчет двухполярного ККМ, работающего в непрерывном режиме, а также расчет многоуровневого DC-DC преобразователя, работающего в режиме Phase Shift, в том числе и расчет дроссель-трансформаторов. Обоснован выбор топологии схемы зарядного устройства, представлены достоинства и недостатки.

По результатам данной работы создан макетный образец зарядного устройства. Проведена верификация полученных данных и теоретического расчета.

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

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАРЯЖЕННОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Оценка степени заряженности (SOC — State of Charge) обязательное условие для длительной и безопасной эксплуатации литий-ионного аккумулятора (ЛИА). ЛИА, в отличие, например, от свинцово-кислотного аккумулятора, не имеет прямой зависимости степени заряженности от напряжения на терминалах и не позволяет напрямую измерить концентрацию ионов в электролите или в активном веществе [1, 2].

Степень заряженности ЛИА является сложной функцией от текущих параметров (тока, температуры, напряжения) и характеристик (емкость, внутреннее сопротивление, поляризационная емкость, материалов активных материалов и т.д.). В настоящее время наиболее перспективными являются методы основанные на построении модели ЛИА и применениях систем прогнозирования (фильтр Калмана). Кроме того, активно исследуются методы, основанные на машинном обучении (искусственные нейронные сети).

В работе проведено моделирование и анализ некоторых методов оценки степени заряженности: методы основанные на измерениях тока и напряжения, методы на основе модели ЛИА и фильтра Калмана, методы на основе машинного обучения. Моделирование производилось в системе Matlab/Simulink.

Основным критерием сравнения является ошибка в оценке степени заряженности. Кроме того, рассмотрены требования к вычислительным ресурсам. Данные методы оценки, как правило, применяются в системах управления аккумуляторных батарей (BMS) вычислительные ресурсы которых сильно ограничены.

### **Литература**

1. **Andrea D.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, Artech, 2010.
2. **Gregory L. Plett** Battery Management Systems, Volume I: Battery Modeling, Artech, 2015.

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

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ON-GRID ИНВЕРТОРОМ

Системы фазовой автоподстройки частоты находят широкое применение в электронных устройствах. Они используются для частотной модуляции и демодуляции, преобразования частоты, частотной фильтрации, для распределения сигналов синхронизации в цифровых логических схемах. Существует различные типы реализации ФАПЧ: аналоговые (APLL), цифровые (DPLL) и программные (SPLL) (см. рис. 1). Выбор конкретного типа реализации зависит от поставленных задач.

В данной работе рассмотрена программная реализация ФАПЧ для управления on-grid инвертором. Исследованы уже имеющиеся программные алгоритмы реализации ФАПЧ и на их основе разработан собственный алгоритм с возможностью подстройки как частоты, так и амплитуды. Разработанный алгоритм проверен на микроконтроллере STM32F407.



Рис. 1. Структура ФАПЧ

*Е. С. Муратов, студ.; рук. А. Н. Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИЗНОСА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Оценка степени износа (SOH — State of Health) важное условие безопасной и экономически выгодной эксплуатации литий-ионного аккумулятора (ЛИА). На протяжении всего срока службы аккумуляторная батарея (АКБ) подвергается случайным, непредсказуемым внешним воздействиям (по напряжению, току и температуре), которые приближают момент выхода из строя ЛИА. Более того, сложность внутренних процессов значительно усложняет задачу по точному прогнозированию степени износа ЛИА при практическом применении.

Важное место в АКБ занимает система управления батареями (BMS — Battery Management System). Она обеспечивает безопасную, эффективную и надежную работу АКБ. Однако с помощью параметров, измеренных BMS, невозможно напрямую оценить SOH. Поэтому методы оценки SOH требуют качественного рассмотрения для последующей интеграции в BMS. Продвинутое BMS с достоверным методом оценки SOH позволят осуществлять упреждающее обслуживание АКБ.

В работе производится сравнение и анализ нескольких методов оценки SOH ЛИА на основе винеровского процесса [1], и нейронных сетей [2], фильтра Калмана [3] и другие. Моделирование проводилось в программе Matlab/Simulink с использованием данных, полученных в ходе испытаний ЛИА при разных параметрах SOH.

Основным критерием сравнения является наименьшая ошибка в результатах эксперимента, а также возможность применения в BMS с ограниченными вычислительными ресурсами.

### **Литература**

1. **Xiadong X.** State-of-Health Estimation for Lithium-Ion Batteries Based on Wiener Process With Modeling the Relaxation Effect, IEEE, 2019.
2. **Zheng C., Qiao X.** State of Health Estimation for Lithium-ion Batteries Based on Fusion of Autoregressive Moving Average Model and Elman Neural Network, IEEE, 2019.
3. **Gregory L. Plett** Battery Management Systems, Volume II: Equivalent-Circuit Methods, Artech, 2015.

*М. И. Гнугикова, студ.; рук. Р. Г. Гришин, к.т.н., доц. (СамГТУ)*

## **РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННОГО ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛА ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ В НАПРЯЖЕНИЕ**

Для того чтобы согласовать работу микропроцессорного устройства и аналоговой схемы необходим специальный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). На его вход информация подаётся цифровому протоколу, с выхода снимается сигнал напряжения или тока [1].

Разновидностью цифрового сигнала является широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Он широко используется при передаче управляющих команд от контроллера к исполнительным механизмам.

В ряде случаев возникает задача преобразовать ШИМ сигнал в напряжение. Для этого могут быть использованы методы [2]:

- интегрирующие RC цепочки;
- специализированные микросхемы — преобразователи;
- преобразователи на микроконтроллерах (таймер и ЦАП).

Авторами данной работы был предложен вариант прецизионного преобразователя сигналов широтно-импульсной модуляции в напряжение, который обладает следующими отличительными особенностями:

- разрядность преобразователя 12 бит не зависимо от частоты входного сигнала, так как применяется подстройка частоты тактового генератора для обеспечения максимальной разрешающей способности преобразователя;
- погрешность преобразования 1% (без учёта погрешности ЦАП);
- возможность реализации преобразователя на микросхемах стандартной логики и средствами программируемых логических интегральных схем (ПЛИС);
- частота обновления данных на выходе равна частоте входного ШИМ сигнала.

Принцип работы преобразователя основан на заполнении положительной (отрицательной) части сигнала ШИМ прямоугольными импульсами с выхода высокочастотного настраиваемого генератора. Счётчиком осуществляется измерение количества импульсов за рабочий цикл ШИМ.

### **Литература**

1. Слепов Н. Н., Дроздов Б. В. Широтно-импульсная модуляция. Анализ и применение в магнитной записи. М.: Энергия, 1978. 192 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники, Пер. с англ. М.: БИНОМ, 2016. 704 с.

П. П. Харчу, студ.; М. А. Новиков, к.т.н., доцент. (ННУ «МЭН»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СВИНЦОВЫХ-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

На сегодняшний день существует множество топологий силовых схем для реализации зарядных устройств. В зависимости от поставленных задач осуществляется выбор топологии схемы. Выбор схемы осуществляется по многим критериям, это могут быть как энергетические показатели так и массогабаритные характеристики.

В данной работе рассматривается AC-DC преобразователь на основе схемы «Косого» моста. В работе приводятся достоинства и недостатки этой схемы. А также рассматривается эта схема при разных видах управления «косым» мостом. А так-же исследуется схема при двух исполнениях трансформатора, таких как традиционное исполнение и планарное исполнение трансформатора.

Целью работы является исследования схемы при различном управлении преобразователем и различном исполнении трансформатора найти наилучшие характеристики массогабаритных параметров и КПД схемы.

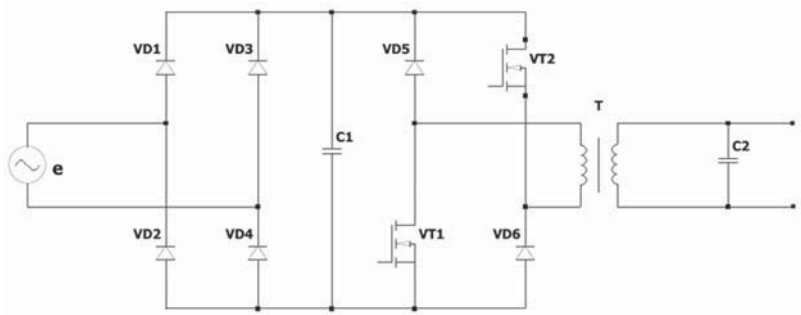


Рис. 1. Рассматриваемая схема преобразователя



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

## **ИНВЕРТОР С ПОВЫШЕННЫМИ КРИТЕРИЯМИ МАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПО ВХОДНОЙ ЦЕПИ И ТРЕБОВАНИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА**

Автономные преобразователи всё плотнее входят в нашу жизнь. Независимость от бытовой сети и повышенные требования к питающей сети автономных приборов являются камнем преткновения для разработчика. Количество таких устройств увеличивается с каждым годом и их влияние друг на друга так же растёт. Появляется такая проблема как магнитная совместимость.

Инверторные преобразователи являются широким классом преобразовательной техники, нашедшие применения в широкой области, начиная от автономных источников питания до возобновляемой энергетики. Требования по качеству потребляемого тока и электромагнитной совместимости по входным цепям различных преобразователей характерны, как правило, для AC/DC преобразователей. Однако первичные источники постоянного тока для инверторных преобразователей также могут оказаться требовательны к качеству входного тока, так как пульсирующий ток инверторных преобразователей ухудшает электромагнитную совместимость со стороны источников постоянного тока, а также приводит к нелинейному характеру нагрузки по отношению к ним.

В данной работе рассматриваются и исследуются различные подходы к проектированию инвертора с повышенными критериями магнитной совместимости по входной цепи и требованиями непрерывного потребляемого тока. В рамках исследования производится анализ таких типов повышающих преобразователей постоянного напряжения, как пушпульный преобразователь, однотактный преобразователь с непрерывной передачей энергии и мостовой преобразователь с дроссельным входом. Так же проведено моделирование их работы в среде Matlab/Simulink.

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005.
2. **Vasily Y. Golikov, Valery I. Meleshin, Vladimir I. Antonov and Denis A. Ovchinnikov.** Efficient and adaptive energy recycling load // Industrial Electronics, 34th Annual Conference of IEEE, 2008

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

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ВЫБОРУ ТОПОЛОГИИ ДЛЯ СХЕМЫ ПИТАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ**

При постоянном росте рынка альтернативной энергетики особое внимание уделяется не только элементам по выработке электроэнергии (ветряки, солнечные батареи), но и электронным компонентам, выполняющим преобразование этой энергии, таким как инверторы. КПД инвертора указывает на процент энергии, которая поступит от источника энергии непосредственно в сеть. Некоторые smart-инверторы (умные инверторы) способны достигать КПД порядка 98%. Для достижения высокой эффективности используют самые надежные компоненты, такие как полупроводниковые элементы (IGBT, MOSFET транзисторы), конденсаторы (электролитические большой емкости или пленочные конденсаторы), трансформаторы и другие не менее важные компоненты.

Инвертор — очень требователен к силовым электронным компонентам. Инверторы для солнечных батарей (часто называют сетевые инверторы) классифицируют как string-инверторы, центральные инверторы и микроинверторы:

- String инверторы применяются, как правило, в системах до 100 кВт, таких как дома или небольшие коммерческие проекты, где работает система слежения за точкой максимальной мощности (MPPT);
- Центральные инверторы применимы для систем свыше 100 кВт, таких как большие массивы солнечных батарей установленных на крышах зданий и промышленных объектов, а также специальных площадках;
- Микро-преобразователи представляют собой преобразователи типа string с системой слежения за точкой максимальной мощности (MPPT) для максимальной оптимизации мощности каждой солнечной панели вместо всей системы, как при использовании центрального инвертора, но при более низкой мощности (как правило, 300 Вт).

### **Литература**

1. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005.
2. Solar Cells and their Applications Second Edition, Lewis Fraas, Larry Partain, Wiley, 2010, ISBN 978-0-470-44633-1, Section 10.2.
3. “Evaluation of Micro Controller Based Maximum Power Point Tracking Methods Using dSPACE Platform

**Секция 10**  
**ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**  
**Electronics and nanoelectronics**

---

*Председатель секции:*

*д. т. н., профессор Гуляев Александр Михайлович*

*Секретарь секции: к. т. н. Зезин Денис Анатольевич*

*А. А. Крымская, студ.; рук. А. Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ DLC-ПЛЁНОК**

При работе с солнечными батареями и оптическими линзами учёные часто встречаются с проблемой, заключающейся в том, что значительная часть падающего света отражается от поверхности. Это серьёзно ограничивает эффективность таких устройств. Одним из способов минимизации данного воздействия и последующего улучшения характеристик является снижение отражательной способности с помощью соответствующего тонкопленочного покрытия, например, такого как алмазоподобные углеродные плёнки (DLC). Благодаря своей высокой механической прочности и низкому коэффициенту трения DLC-плёнки находят широкое распространение в качестве антиотражающих и защитных покрытий [1]. Более того, DLC-плёнки активно применяются в трибологии. Модификация их кремнием приводит к улучшенным трибологическим свойствам при высоких температурах и увеличению прочности [2]. Уникальные механические и биосовместимые свойства тонких пленок на основе углерода предлагают обширный спектр промышленных применений, включая автомобильные, биосовместимые имплантаты [3] и жёсткие диски.

В ходе данного исследования основное внимание уделено коэффициенту пропускания DLC-плёнок, который является одним из основных параметров при выборе покрытий для оптических устройств. Основной задачей ставится нахождение наиболее высокого значения данного параметра, чтобы снизить отражательную способность плёнок. Рассматриваются зависимости коэффициента пропускания DLC-плёнок от степени легирования материала различными компонентами, от технологических параметров синтеза.

Результаты выполненной работы позволят определить наиболее оптимальный способ нанесения плёнки, а также состав для улучшения её оптических свойств при различном диапазоне длин волн.

### **Литература**

1. **V.M. Aroutiounian, K. H. Martirosyan, and P. Soukiassian**, Low reflectance of diamond-like carbon/porous silicon double layer antireflection coating for silicon solar cells // J. Phys. D: Appl. Phys. 2004. V. 19. № 19.
2. **Zhang T. F., Wan X., Ding J. C., Zhang S., Wang Q. M., Kim K. H.** Microstructure and high-temperature tribological properties of Si-doped hydrogenated diamond-like carbon films // Applied Surface Science. 2018. V. 435.
3. **N. Dwivedi, S. Kumar, C.M.S. Rauthan, O.S. Panwar** Correlation of sp<sup>3</sup> and sp<sup>2</sup> fraction of carbon with electrical, optical and nano-mechanical properties of argon-diluted diamond-like carbon films // Appl. Phys. 2011. V. 257.

*Е. В. Щетинина, студ.; рук. А. Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Гранулированные сплавы металл–диэлектрик представляют собой систему, состоящую из гранул металла, диспергированного в матрице диэлектрика. Эти системы различных видов широко используются в современной технике, особенно в таких быстро развивающихся областях, как электроника и вычислительная техника.

Твердый аморфный «алмазоподобный» углерод (DLC) представляет собой метастабильную форму аморфного углерода, содержащую значительную долю связанных углеродных  $sp^3$  связей. При введении металлов их нанокластеры образуются и гомогенно диспергируются в DLC, сохраняя особенности атомов металла и значительно расширяя диапазоны управляемого изменения некоторых из присущих физических свойств пленок [1–3].

Интерес к металлосодержащим алмазоподобным углеродным пленкам (Me-C:H) в последние годы растет из-за их замечательных механических, трибологических, магнитных, электрических и оптических свойств. И, хотя DLC и металл-DLC (Me-DLC) пленки имеют значительные потенциальные применения [4–9], что касается диэлектрических свойств, было опубликовано относительно мало статей о них из-за более высокой проводимости данных тонких пленок по сравнению с другими. Поэтому данная тема актуальна и в настоящее время требует широкого освящения и изучения.

В данной работе для описанных выше материалов рассматриваются частотные и концентрационные зависимости таких характеристик, как проводимость, диэлектрическая проницаемость пленки и тангенс угла диэлектрических потерь.

### **Литература**

1. **Krishna K. M., Soga T., Mukhopadhyay K., Sharon M., Umeno M.** Solar Energy Mater. Solar Cells 48 (1997) P. 25
2. **Lazar G., Lazar I.** Journal of non-crystalline solids 331 (2003) P. 70
3. **Adhikary S., Tian X. M., Adhikari S., Omer A. M. M., Uchida H., Umeno M.** Diam. Relat. Mater. 14 (2005) P. 1832
4. **Robertson J.** Mater. Sci. Eng. R 37 (4–6) (2002) P. 129.
5. **Kayani A. N.** Ph. D. thesis, Ohio University, 2003.
6. **Angus J. C., Koidl P., Domitz S.** Plasma Depos. Thin Films 4 (1986) P. 89.
7. **Voevodin A. A., Zabinski J. S.** Thin Solid Films 268 (2000) P. 223
8. **Paul R., Dalui S., Das S. N., Bhar R., Pal A. K.** Appl. Surf. Sci. 255 (2008) P. 1705.
9. **Chu P. K., Li L.,** Mater. Chem. Phys. 96 (2006) P. 253.

*Т. С. Чуканова, асп.; рук. А. И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК**

Кремний-углеродные аморфные плёнки обладают всеми достоинствами алмазоподобных углеродных плёнок и при этом лишены многих их недостатков [1]. За счёт своих достоинств кремний-углеродные плёнки выступают в роли эффективных защитных покрытий для различных областей техники и электроники [2]. В связи с этим их электрические и оптические свойства, а также термостабильность, твёрдость и другие физические параметры хорошо изучены.

Как известно кремний-углеродные плёнки обладают низкой электропроводностью и для использования в электронике их часто модифицируют металлами. Это позволяет расширить диапазон электропроводности на 8–9 порядков величины, однако, как введение металла влияет на диэлектрические свойства пленок изучено слабо [3].

Плёнки были получены методом плазмохимического разложения кремнийорганического вещества полифенилметилсилоксана (ПФМС) и одновременного магнетронного распыления металла Ti. Концентрации металла лежали в диапазоне от 0,2 до 13 ат. %. В работе проведены исследования фазового состава полученных пленок и их диэлектрических свойств. В качестве последних исследовались диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь, а также их частотные и температурные зависимости. В докладе анализируются результаты проведенных исследований и влияние образовавшейся в исследуемых образцах нанодиффузии на диэлектрические свойства материала. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00021).

### **Литература**

1. **Šarūnas Meskinis** Structure, Properties and Applications of Diamond Like Nanocomposite (SiO<sub>x</sub> x Containing DLC) Films: A Review / Šarūnas Meskinis // Materials science. — 2011. — Vol. 17. — No. 4. — 358–370
2. **Filippo Mangolini** Effect of silicon and oxygen dopants on the stability of hydrogenated amorphous carbon under harsh environmental conditions / Filippo Mangolini [et al.] // Carbon — 2018. — V. 130 — P. 127–136
3. **Huang Q. F.** Dielectric properties of molybdenum-containing diamond-like carbon films deposited using electron cyclotron resonance chemical vapor deposition / Q. F. Huang [et al.] // Thin Solid Films — 2002. — 409 — P. 211–219

*О. В. Пинчук, Т. П. Савчук, асп.;*  
*рук. С. А. Гаврилов, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ», Зеленоград)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОСТРУКТУР АНОДНЫХ НАНОТРУБОК $\text{TiO}_2$ С НАНОЧАСТИЦАМИ $\text{CuO}$**

В настоящее время  $\text{TiO}_2$  широко изучается и используется в качестве фотокатализатора для разложения органических загрязнителей. Ширина запрещенной зоны  $\text{TiO}_2$  составляет 3,2 эВ, что ограничивает потенциал применения этого материала в фотокатализе. Для образования фотоиндуцированных носителей заряда, необходимых для начала фотокаталитической реакции,  $\text{TiO}_2$  требует ультрафиолетового облучения, которое составляет 4% от всего солнечного спектра, достигающего поверхности планеты. Увеличение спектра поглощения  $\text{TiO}_2$  позволит увеличить эффективность фотокатализаторов на его основе. Известно, что создание гетероструктур с помощью осаждения наночастиц оксидов переходных металлов способствует расширению спектра поглощения  $\text{TiO}_2$ . Среди различных оксидов переходных металлов оксиды меди привлекают значительное внимание для создания гетеропереходов между слоем  $\text{TiO}_2$ . Использование метода SILAR для получения наночастиц оксидов переходных металлов на поверхности оксида титана для создания гетероструктур может являться простым и дешевым способом повышения фотокаталитической активности формируемых фотокатализаторов [1].

Целью работы являлось исследование фотокаталитических свойств гетероструктур анодных нанотрубок  $\text{TiO}_2$  с наночастицами  $\text{CuO}$ .

Наночастицы  $\text{CuO}$  наносились методом молекулярного наплавления на поверхность анодных нанотрубок оксида титана с последующей термической обработкой. Оценка фотокаталитических свойств образцов проводилась посредством измерения пропускания модельного загрязняющего вещества на спектрофотометре. Измерение фотоэлектрохимических свойств полученных образцов исследовалось посредством измерения фототока при облучении ксеноновой лампой со спектром излучения AM 1.5, а также при свете с длинной волны более 430 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РФФИ (№ 18-29-23038 мк).

### **Литература**

1. SILAR Preparation of  $\text{CuO}$  Nanoparticles on  $\text{TiO}_2$  Sol-Gel Layer for Efficient Visible Light Photocatalysis / T. P. Savchuk, O. V. Pinchuk, M. F. Kamaleev et al. // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019. — 2019. — P. 1960–1964.

*Ф. Р. Княжев, студ.; рук. А. Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ПРОФИЛОГРАФА-ПРОФИЛОМЕТРА**

При исследовании различных свойств тонких плёнок, а также создании приборов на их основе необходимо знать толщину покрытия. Одним из способов измерения толщины является применение профилометра. Из показаний профилометра при профилировании ступеньки, формируемой в процессе напыления между плёнкой и подложкой, получают значение толщины.

В данной работе используется профилограф-профилометр (модель 201) с бумажным самописцем, который изображен на рис. 1. На обработку результатов, полученных данным прибором, требуется относительно долгий отрезок времени. Во избежание время затратных расчетов, производимых на бумажной диаграмме шероховатости материала, была произведена модернизация данного устройства.

Цель модернизации — упростить использование профилографа-профилометра посредством оцифровки сигнала [1], выходящего со считывающей головки устройства. Сигнал будет приходить в компьютер и обрабатываться. Это значительно ускорит процесс обработки данных, а впоследствии и темп исследования поверхностей с данного устройства.

В работе будут описаны несколько методов решения проблемы, каждый из которых будет иметь свой подход и свои особенности.

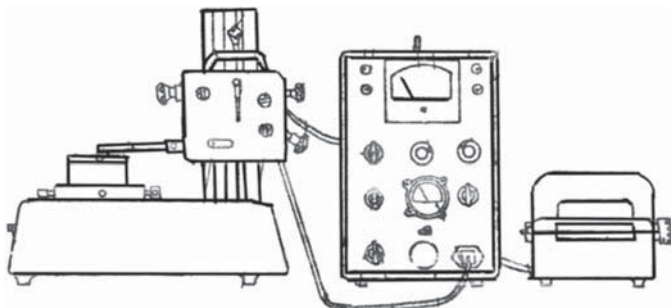


Рис. 1. Профилограф-профилометр (модель 201)

### **Литература**

1. **Джонс М. Х.** Электроника — практический курс // М. Х. Джонс; пер. с англ. под ред. Е. В. Воронова, А. Л. Ларина. — Москва: Изд-во Постмаркет, 1999. — 528 с.



*Н. А. Блохин, студ.; рук. Д. А. Зезин, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНВЕРТОРА НА ЕГО РАБОТУ

Солнечные электростанции являются перспективным источником энергии. При этом, как и для любой другой электростанции, солнечные электростанции большой мощности сталкиваются с проблемой хранения выработанной энергии, что вынуждает инженеров, проектирующих подобные станции, предусматривать возможность передачи электроэнергии напрямую в сеть.

Для передачи энергии, вырабатываемой солнечными батареями напрямую в сеть, необходима дополнительные системы преобразования постоянного тока в переменный: инверторы разнообразных конструкций. Один из типовых вариантов инверторов, используемых на практике представлен на рисунке.

Устройство инвертора подразумевает большое количество отдельных элементов, имеющих некоторый разброс параметров, обусловленный процессом изготовления. В данной работе изучено влияние разброса параметров элементов инвертора на характеристики выходного сигнала, что позволило оценить, какие из них оказывают наибольшее влияние на выходные параметры прибора.

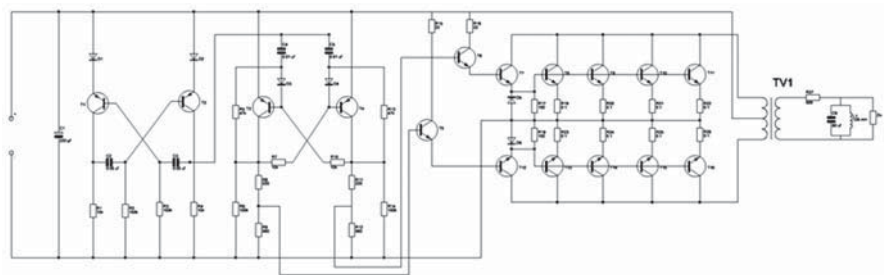


Рис. 1. Один из типовых вариантов инверторов

### Литература

1. **Гельман М. В.** Преобразовательная техника: учебное пособие / М. В. Гельман, М. М. Дудкин, К. А. Преображенский. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. — 425 с.

*Д. В. Пепеляев, асп.,  
рук. А. А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)*

## **ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ**

Быстрый рост энергопотребления — является серьёзной экологической проблемой, с которой сталкивается человечество. Решением данной проблемы может быть повсеместное внедрение возобновляемой энергетики [1]. Одним из перспективных направлений является преобразование тепла человеческого тела термоэлектрическим генератором (ТЭГ) в электрическую энергию для питания носимой электроники. В качестве одного из наиболее быстрых и дешевых методов изготовления пленочных ТЭГ с высокими характеристиками можно выделить метод электрохимического осаждения термоэлектрических пленок, технология которого в настоящее время не отработана. В связи с этим целью данной работы является отработка технологии электрохимического осаждения термоэлектрических пленок низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе твердых растворов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

Осаждение пленок осуществлялось в водном растворе электролита, состоящего из 3,5 М  $\text{HNO}_3$ , 25 мМ  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и 25 мМ  $\text{TeO}_2$  при плотности тока 1.25 мА/см<sup>2</sup> в течение 120 минут. В качестве электропроводящей основы для осаждения тонкой пленки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  использовалась нержавеющая сталь.

Сформированные пленки, методом отрыва переносились на полиимидный скотч.

Результаты исследования коэффициента термоЭДС и сопротивления после осаждения показали, что формируемые пленки обладают n-типом проводимости с величиной сопротивления порядка 24 Ом и коэффициента термоЭДС, -75 мкВ/К.

Результаты исследования температурной зависимости коэффициента термоЭДС и сопротивления показали рост коэффициента термоЭДС до -80 мкВ/К и увеличения сопротивления до 30 Ом в интервале температуры от комнатной до 100°C

Таким образом была проведена отработка технологии получения тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  с применением электрохимического осаждения, а также были проведены исследования температурной зависимости коэффициента термоЭДС и сопротивления тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

### **Литература**

1. Wang Y., Yang L., Shi X.-L., Shi X., Chen L., Dargusch M. S., Zou J. and Chen Z.-G. Flexible Thermoelectric Materials and Generators: Challenges and Innovations. Advanced Materials. 2019. Vol. 31. P. 1–47.

*Н. С. Маринин, студ.; рук. Ю. В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОЛНЕЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА АМОРФНОМ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОМ КРЕМНИИ. ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУКЦИЯ**

В будущем роль возобновляемых источников энергии благодаря неисчерпаемости и отсутствию выбросов в атмосферу вредных веществ, оказывающих пагубное воздействие на окружающую среду, будет только увеличиваться. Одним из этих возобновляемых источников является солнечная энергия. Используя солнечные элементы эту энергию благодаря фотовольтаическому эффекту можно преобразовать непосредственно в электрический ток [1].

Сегодня в производстве фотоэлектрических модулей доминируют кремниевые солнечные модули, которые занимают 94% от общего числа, из которых 71% — поликристаллические кремниевые солнечные элементы и 23% — доля монокристаллических ячеек [2].

Классический солнечный элемент из кристаллического кремния представляет собой не что иное как диод, то есть р-п-переход на кремнии. Чтобы улучшить его характеристики, используют различные технологические способы модификации поверхности. Одна из таких модификаций заключается в нанесении тонкого слоя аморфного гидрогенизированного кремния на поверхность кремния п-типа — НИТ (hetero-junction with intrinsic thin layer) ячейка [2].

В данной работе рассматриваются различные конструкции с использованием аморфного гидрогенизированного кремния и их конструктивные особенности, необходимые для повышения эффективности преобразования солнечной энергии. А также технология изготовления этих солнечных фотоэлементов.

### **Литература**

1. **Ропов А. I.** Disordered semiconductors: Physics and applications. Pan Stanford Publishing 2018.
2. **Пальц В.** Триумф солнечного века. Революция возобновляемых источников — М.: АНО «Журнал «Экология и жизнь», 2019.

*А. А. Афанасьев.; рук. А. Д. Баринов, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛЬНОГО НАГРЕВА ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

Важным исследованием в разных областях науки и техники всегда являлось определение температурной зависимости того или иного параметра или ряда параметров исследуемого материала, например, электропроводности [1], относительной диэлектрической проницаемости [2], энергетического положения глубоких уровней и энергетического спектра наноструктур, определяемых методом релаксационной спектроскопии глубоких уровней [3], и пр.

На кафедре Электроники и наноэлектроники имеется измерительный комплекс для исследования электрофизических параметров полупроводниковых материалов. Однако, у комплекса имеется недостаток — отсутствует система нагрева. В связи с этим предметом моей работы стало обеспечение температурного нагрева и контроля предполагается производить через связь с компьютером в целях автоматизации процесса.

В докладе обсуждаются возможные варианты нагрева и контроля температуры, а также предложена реализация метода нагрева.

### **Литература**

1. **Баринов А. Д.** Влияние нанокристаллической фазы тантала на электропроводность аморфных танталосодержащих кремний-углеродных плёнок / А. Д. Баринов, Л. В. Кутузов, А. И. Попов [и др.] // Неорганические материалы. — 2014. — Т. 50. — № 9. — С. 1016–1021.
2. **Barinov A. D.** Effect of precursor on the dielectric properties of diamond-like silicon-carbon films / A. D. Barinov, T. D. Gurinovich, A. I. Popov [etc.] // Inorganic Materials. — 2020. — V. 56. — № 8. — P. 799–808.
3. **Антонова И. В.** Зарядовая спектроскопия слоёв SiO<sub>2</sub> с нанокристаллами кремния, модифицированных ионами высоких энергий / И. В. Антонова, С. А. Смагулова, Е. П. Неустровев [и др.] // Физика и техника полупроводников. — 2011. — Т. 45. — В. 5. — С. 591–595.

*С. В. Асташкин, студ.; рук. Ю. В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

Развитие технологий в современном мире приводит к высокому спросу на энергоресурсы. Одним из основных источников альтернативной и экологически чистой энергии является солнечный свет. Наиболее эффективными устройствами по преобразованию солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи [1]. В процессе создания эти структуры проходят целый ряд разнообразных технологических операций: выращивание кристалла, его очистка, легирование, травление, наращивание оксидной плёнки и другие. Данные процессы значительно влияют на характеристики полученных устройств. Как следствие, возможность их учёта, корректировки и изменения всегда является актуальной задачей, которая решается при помощи современных систем расчета параметров. Однако, разработчики технологических операций и топологических структур зачастую не учитывают физические особенности, возникающие после некоторых стадий изготовления изделия. Данная задача особо актуальна при работе с тонкими структурами, где влияние технологического процесса может кардинально изменить электрофизические характеристики.

В данном исследовании рассматривалось влияние процесса термического окисления кремния для полупроводниковых преобразователей. Окисление приводит к уменьшению толщины кремния, что может существенно повлиять на сопротивление и пробивные напряжения преобразователей [2]. Тем не менее этот процесс необходим, поскольку именно окисление приводит к уменьшению поверхностных дефектов в кремнии и способствует снижению токов утечки. В данном случае рассматривалась возможность минимизации толщины кремния при сохранении основных физических параметров изготавливаемого полупроводникового прибора.

Предварительные расчёты показали, что изменения, вызванные процессом термического окисления кремния, происходящие в структуре фотоэлектрического преобразователя, требуют минимизации данного процесса, а значит модификации технологического маршрута.

### **Литература**

1. **A. Marti, A. Luque.** Next Generation Photovoltaics: High Efficiency through Full Spectrum Utilization. CRC Press, 2003.
2. **James D. Plummer, Michael Deal, Peter D. Griffin.** Silicon VLSI technology fundamentals, practice, and modeling. Prentice Hall, 2000.

*М. Е. Шутов, студ.; рук. Ю. В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМНОЙ ДИФфуЗИИ В ТОНКИХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ**

Технология изготовления современной компонентной базы полупроводниковой электроники предполагает применение плазменных, высокотемпературных и жидкостных процессов, которые могут оказывать как косвенное, так и прямое влияние на характеристики конечного изделия. Существует много методов, позволяющих рассчитать и оценить влияние того или иного технологического процесса, однако в большинстве случаев эти расчеты не учитывают физических особенностей работы прибора. В данной работе исследовалось влияние процессов взаимной диффузии в тонких многослойных эпитаксиальных структурах на примере полупроводникового преобразователя оптического излучения.

Исследуемые преобразователи изготавливались на основе кремниевой структуры с двумя эпитаксиальными слоями  $n+$  и  $p+$ , изготовленными на  $n++$  подложке.

Переход подложка —  $n$ -слой не рассматривался из-за незначительности влияния его размытия ( $As$  имеет низкий коэффициент диффузии по сравнению с  $P$  и  $B$  [1]). Необходимо учесть размытие профиля распределения примесей в процессе диффузии, из-за которого происходит изменение параметров  $pn$ -перехода.

За основу исследований брался процесс окисления, проводимый при температуре  $1000^{\circ}C$  с длительностью — 1 час. По данным удельным сопротивлениям исходной структуры рассчитаны концентрации в эпитаксиальных слоях. Применялась модель расчета для взаимной диффузии из полуограниченных областей. По результатам вычислений можно сделать вывод, что после процесса окисления граница  $pn$ -перехода сместится в  $n+$ -область на  $0.24$  мкм, контактная разность потенциалов уменьшится на  $0.124$  В, изменение толщины ОПЗ составит  $77$  нм.

### **Литература**

1. **М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревлева.** Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012.

*Н. А. Полищук, А. Д. Юрченков, студенты;  
рук. С. В. Дроздецкий, асс. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕКТРО-УКУЛЕЛЕ**

Лазерное электро-укулеле (ЛЭУ) — музыкальное устройство, основанное на акустической укулеле. Основными блоками ЛЭУ являются: клавиатура, блок вывода звука, аккумуляторный блок, блок приема и передачи излучающего лазера. Управляет ими микроконтроллер *Atmega 328p* [1], являющийся основой платы *Arduino Uno*.

Клавиатура представляет собой плату, с расположенными на ней кнопками, являющимися заменой ладов в струнной укулеле. Соединение кнопок представлено в матричном исполнении. Для реализации подключения 48 кнопок клавиатура подключается к 2-ум дешифраторам (*SN74LS138*). Каждой ноте соответствует своя собственная частота широтно-модулированного (ШИМ) сигнала [2]. В памяти микроконтроллера задана таблица соответствия [3] между нажатой клавишей и воспроизводимой нотой, согласно обычному строю укулеле.

Помимо опроса нажатой клавиши, микроконтроллер анализирует прерывание излучающего лазера. Блок передачи излучающего лазера реализован с помощью подключенных через токозадающие резисторы лазеров. Блок приема лазера представляет собой 4 фоторезистора. Микроконтроллер определяет сопротивление фоторезистора и при изменении сопротивления выше уровня, заданного программно, производится вывод звука либо «открытой» струны (в случае если ни одна кнопка не нажата), либо определенной ноты на ладу.

Вывод звука осуществляется с помощью блока, состоящего из звукового усилителя, на базе микросхемы *МС34119*, а также динамика с сопротивлением 8 Ом.

Разрабатываемое устройство не имеет прямых аналогов в мире. Ближайшим аналогом устройства является лазерная арфа. В отличие от нее ЛЭУ является автономным устройством (используются аккумуляторы), более безопасным (маломощные лазеры не требуют использования защитных перчаток), а также в несколько раз дешевле ближайших аналогов.

### **Литература**

1. **Евстифеев А. В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 560 с.
2. Лебедев М. Б. *CodeVisionAVR: пособие для начинающих.* — М.: «Додэка-XXI», 2008. — 592 с.
3. **Прокопенко В. С.** Программирование микроконтроллеров ATMEL на языке С. — К.: «МК\_Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2012. — 320 с.

*М. А. Левченко, студент;  
рук. А. А. Самокрутов, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

С развитием тепловизионной техники увеличивается и количество сфер, в которых она применяется. Тепловизоры используются для контроля утечек тепла в зданиях, в энергетике, металлургии и пр. [1]. В настоящее время в связи с эпидемиологической обстановкой в мире одним из методов выявления заболевших является установка тепловизоров в местах массового скопления людей.

Главной проблемой такого контроля является высокая погрешность измерения температуры. Даже 1°С критичен при выявлении потенциального заболевшего.

Целью работы является рассмотрение методов повышения точности измерения с помощью тепловизионных приборов за счет как аппаратной, так и программной частей.

В данной работе по аппаратной части рассматриваются тепловизионные матрицы, аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) а также микроконтроллеры (МК) и их параметры, позволяющие уменьшить погрешность. В программной части рассматриваются два основных метода: измерение температуры с подстройкой коэффициентов по температуре абсолютно черного тела (АЧТ), а также подстройка коэффициентов по общей температуре в кадре.

Для аппаратной части приводятся сравнительные таблицы, связывающие между собой скорость преобразования и точность при использовании различных элементов тепловизора. Для программной части предлагаются варианты по повышению точности измерения обоих методов, а также рассматриваются их преимущества и недостатки.

В ходе проведенного анализа предложена элементная база на основе отечественных компонентов, а также рассмотрены методы измерения температуры для динамических и статических контролируемых тел.

### **Литература**

1. **Госсорг Ж.** Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение. М.: Мир, 1988.



*А. М. Бражников, студ.; рук. Р. Г. Гришин, к.т.н., доц. (СамГТУ)*

## **ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЦВЕТОВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АДАПТИВНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ КАМУФЛЯЖЕЙ**

Адаптивный визуальный камуфляж — разновидность камуфляжа, способного подстраиваться под условия окружающей среды, обеспечивая незаметность объекта, даже находящегося в движении.

Адаптивный камуфляж является комплексом, включающим [1]:

- средства наблюдения (камеры, датчики освещённости);
- средства обработки информации;
- средства цветовоспроизведения.

Авторами данной работы был предложен вариант электромеханических цветовоспроизводящих устройств, размещающихся на одежде, которые могут входить в состав систем адаптивного камуфляжа [2].

Цветовоспроизводящее устройство представляет из себя электромеханическую систему, которая состоит из основания, электронного блока управления, миниатюрного шагового двигателя и лепестка, окрашенного в различные цвета. Устройство имеет цифровой интерфейс и входит в состав матрицы, с неограниченным количеством элементов с управлением на уровне отдельных элементов. Матрица размещается на эластичной основе (сетчатой ткани или ином текстильном материале), что делает её пригодной для производства экипировки человека.

Лепесток может быть не только окрашен в различные цвета, но и иметь различную текстуру: матовую, глянецовую, пористую, что позволяет реализовать контроль микроклимата одежды.

Разработанная технология имеет следующие преимущества:

- пассивное формирование цвета (работает на отражение), что позволяет использовать её в любых условиях освещённости;
- отсутствие энергопотребления при установке нужного цвета или узора, энергия потребляется только при смене рисунка;
- возможность менять текстуру материала, способность пропускать влагу и задерживать тепло.

### **Литература**

1. **А. Ю. Королёв, А. А. Королёва, А. Д. Яковлев.** Маскировка вооружения, техники и объектов. Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2015. 155 с.
2. **Бражников А.М., Бражникова А.М.** Анализ технологий создания цветовоспроизводящих устройств для систем адаптивного камуфляжа. Современные инновации в науке и технике (сборник трудов конференции), Зап. гос. ун-т. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2020. — 355 с.

*С. П. Новиков, асп.;*  
*рук. Н. К. Плуготаренко, к.т.н., доц. (ЮФУ г. Таганрог)*

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ГАЗА НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ХЕМОСЕНСОРА**

В настоящее время применяются разного рода сенсоры при идентификации состава окружающей газовой среды, при этом требуется не только разработка новых высокочувствительных кремний-углеродных покрытий, но и проведение исследований чувствительности этих покрытий [1]. В свою очередь так же необходимо проводить качественную обработку сигналов поступающих при проведении исследовательских испытаний.

Обработка сигналов заключается в установлении корреляции между образом на выходе сенсорной системы и составом окружающей атмосферы [2]. При этом в ходе исследований обнаружена зависимость чувствительности сенсора от потока прохождения исследуемого газа через измерительную камеру.

В качестве исследуемого газа был использован диоксид азота. Измерения проводились при различных концентрациях 25, 50 и 100 ppm, а также изменениях потока прохождения газа от 100 до 1000 мл/мин.

В ходе проведения испытаний получены зависимости чувствительности хемосенсора в зависимости от потока газа. Проведя анализ полученных данных можно сказать, что при концентрациях 50 и 100 ppm значительная разница в отклике по изменению сопротивления сенсора (следовательно чувствительности) наблюдалась с увеличением потока до 500 мл/мин., дальнейшего улучшения чувствительности не происходило. Данный подход позволяет снизить влияние потока на чувствительность хемосенсора до допустимых значений.

### **Литература**

1. **М. Н. Григорьев, Т. С. Михайлова, Т. Н. Мясоедова** Резистивные структуры на основе кремний-углеродных пленок для сенсоров газов. Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2019, 6 (208), с. 85–94.
2. **С. П. Новиков, М. С. Свирицова, Н. К. Плуготаренко** Анализ данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах. Математические методы в технике и технологиях — ММТТ-32. Сборник трудов международной научной конференции, 2019, т. 3, с. 90–93.

**Секция 11**  
**БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Biomedical Electronics**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Крамм Михаил Николаевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Стрелков Николай Олегович*

*А. Ю. Бойко, асп.; рук. С. А. Чеченя, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАГНИТНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ ДЛЯ ИНТЕРФЕЙСОВ «МОЗГ–КОМПЬЮТЕР»**

В настоящее время магнитные интерферометры или, иначе говоря, магнитометры широко используются в науках о Земле, а также в биологии и медицине [1].

Цель настоящей работы — обзор и систематизация данных о магнитных интерферометрах для определения наиболее предпочтительных типов приборов в разработке интерфейсов «мозг–компьютер» (ИМК).

Для регистрации геомагнитных полей, а также порогов магнитобиологических реакций на сегодняшний день имеет место применение датчиков Холла, феррозондов или индукционных датчиков магнитного поля [1]. Такие устройства способны регистрировать поле величиной от 0.1 нТл до 100 мкТл. Однако в медицинской практике при исследовании активности головного мозга для детектирования слабых полей величиной менее 1 нТл используются сложные системы, так называемые, оптические квантовые магнитометры (ОКМ), а также сверхпроводящие магнитометры, или СКВИД. ОКМ способны регистрировать магнитные поля от 0.1 пТл до 1 нТл, что существенно меньше, чем индукционные датчики. Тогда как СКВИД является сверхчувствительным устройством и позволяет детектировать поля порядка  $10^{-2}$  пТл. Различают СКВИД на постоянном и переменном токе, при этом последние в настоящее время широко применяются в медицине [2]. Стоит отметить и недостаток ОКМ и СКВИД — чувствительность данных датчиков зависит от спин-обменного процесса в атомах. В свою очередь, появление атомного магнитометра (АТМ), способного регистрировать слабые поля порядка  $10^{-15}$  Тл позволило устранить недостаток ОКМ и СКВИД [3].

Разработка ИМК требует использования высокочувствительных и сверхточных технических устройств, одним из которых является магнитный интерферометр. Опираясь на данные, представленные в данной работе, можно определить СКВИД и АТМ-магнитометры, как наиболее предпочтительные для решения поставленной задачи.

### **Литература**

1. **Andra W.** Magnetism in Medicine / Wilfried Andra, Hannes Nowak. Magnetism in Medicine. — Berlin: Wiley-VCH, 2007. — 646 p.
2. **J. Clarke and A. I. Braginski.** The SQUID handbook. — Wiley-Vch, 2004.
3. **Вершовский А. К.** Новые квантовые радиооптические системы и методы измерения слабых магнитных полей // Диссертация на соискание д.т.н., Санкт-Петербург, 2007.

*Ю. С. Данилкина, студ.;*  
*рук. Н. О. Стрелков, к.н.т., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ПО ИНТЕРФЕЙСУ Wi-Fi**

Медицина не представляет своего существования без электрокардиографов, так как сердечная деятельность — это основной показатель жизнеспособности человека. В настоящей работе разрабатывается многоканальный портативный электрокардиограф на основе микросхемы Analog Devices AD8232 [1] и микроконтроллера Espressif Systems ESP32 [2] с передачей данных по интерфейсу Wi-Fi.

Микросхема AD8232 произведена компанией Analog Devices. Предназначена для мониторинга сердечного ритма. Эта микросхема имеет три электрода для снятия биопотенциалов. Электроды располагаются в различных точках на теле человека — на правой руке, на левой руке, на левой ноге или на эквивалентных точках торса, что значительно упрощает самостоятельное размещение их на теле. AD8232 содержит фильтр верхних частот, который устраняет шумы, возникшие при снятии электрокардиограммы. Для экономии места и стоимости фильтр соединен с операционным усилителем непосредственно в микросхеме. Операционный усилитель позволяет создать фильтр нижних частот для удаления дополнительных шумов. Обмен данными с микроконтроллером осуществляется по интерфейсу I2C.

Микроконтроллер ESP32 представляет собой доступную и мощную платформу для создания умных устройств интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT) с поддержкой современных беспроводных интерфейсов. Микросхема ESP32 представляет собой систему на кристалле с Wi-Fi и Bluetooth радиомодулями. Питание устройства осуществляется от встроенного аккумулятора. Программирование модуля ESP32 осуществлялось в среде Arduino IDE с подключением дополнения `arduino-esp32` [3].

В дальнейшем планируется создание веб-приложения, которое позволит анализировать электрокардиограмму пациента из любой точки мира с учетом безопасности и конфиденциальности данных пациента.

### **Литература**

1. AD8232 Техническое описание и информация о продукте | Analog Devices. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analog.com/ru/products/ad8232.html>.
2. Espressif systems — Wi-Fi and bluetooth chipsets and solutions. [Электронный ресурс]. URL: <http://espressif.com>.
3. GitHub — `espressif/arduino-esp32`: Arduino core for the ESP32. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/espressif/arduino-esp32>

*В. А. Сарибекян, студ.;*  
*рук. Н. О. Стрелков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕДИЦИНСКИЙ ТЕПЛОВИЗОР НА ОСНОВЕ ДАТЧИКА MELEXIS MLX90640**

Успехи, достигнутые в последнее время в освоении инфракрасного диапазона электромагнитного спектра, привели к созданию разнообразной информационной аппаратуры, и в частности, тепловизоров — устройств, предназначенных для наблюдения объектов по их собственному инфракрасному излучению. С помощью термографии и применения тепловизора для медицинского обследования возможно внутри организма обнаружить и распознать многие патологические изменения на раннем, доклиническом этапе, и дать оценку эффективности консервативного лечения при безопасном и бесконтактном обследовании пациента.

В настоящей работе рассматривается создание медицинского тепловизора в качестве лабораторного прототипа для получения термограммы и измерения температуры тела бесконтактным способом.

Разработанный тепловизор выполнен в виде автономного устройства на платформе Arduino на базе микроконтроллера ESP32 с использованием инфракрасного датчика MLX90640 [1], жидкокристаллического дисплея и источника питания.

Программная часть реализована в свободно распространяемой среде разработки Arduino. Вывод полученной термограммы в режиме реального времени производится на дисплей устройства. Также на дисплее выводится максимальная и минимальная температура в кадре, температура микросхемы внутри сенсора, цветовая шкала, остаточный уровень заряда батареи. Для большего удобства устройства выполнено подключение к платформе Arduino Wi-Fi модуля для передачи и обработки информации с устройства на персональный компьютер, смартфон или планшетный компьютер.

Достоинствами разработанного устройства являются доступность его компонентов, открытость программного и аппаратного обеспечения и автономность.

Разработанное устройство может быть использовано для проведения лабораторных работ по курсу «Медицинские приборы» на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

### **Литература**

1. **Far infrared thermal sensor array (MLX90640) #Melexis** [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.melexis.com/en/product/mlx90640/far-infrared-thermal-sensor-array>

*А. М. Иванов, студ.; рук. Н. О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЕСПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ С BLUETOOTH**

Настоящая работа посвящена разработке беспроводного многоканального электрокардиографа в качестве лабораторного стенда. Основу устройства составляет аналого-цифровая микросхема ADS1293 для измерения биопотенциалов сердца [1]. Устройство поддерживает снятие ЭКГ с трех отведений.

Управляющей платой является Arduino Mega 2560 с микроконтроллером ATmega2560. Информация о потенциалах отведений передается на персональный компьютер беспроводным способом с помощью передатчика Bluetooth HC-05. Также для получения информации о состоянии устройства используется дисплей LCD 1602. Устройство питается от перезаряжаемого аккумулятора. Проведен расчет времени автономной работы и экономический расчет стоимости компонентов. Устройство способно работать около 2.5 часов в непрерывном снятии ЭКГ. Стоимость составляет около шести тысяч рублей, что является адекватной ценой с учетом функциональности и выбранных компонентов.

Важной частью работы является разработка программного обеспечения для получения достоверного ЭКГ сигнала с пациента, записи и отображения этих данных на персональном компьютере. Разработано две программы. Первая программа написана на языке C++, в ней описаны алгоритмы управления микроконтроллером для считывания амплитуд отведений и их передачи на модуль Bluetooth. Вторая программа написана на языке программирования Processing, основанном на Java. Она отвечает за отображение графиков отведений ЭКГ на персональном компьютере, а также записывает эту информацию в текстовый файл.

Открытый исходный код программного обеспечения и доступность компонентов открывают возможности для дополнительной модификации устройства, что является его сильной стороной.

В будущем возможно улучшение алгоритмов работы модуля Bluetooth для еще более качественной и энергоэффективной передачи информации, а также обновление программного обеспечения для компьютера, например для расчета ритма сердца или построения ритмограммы.

Наше устройство качественно функционирует и может быть использовано в качестве лабораторного стенда.

### **Литература**

1. **Руководство пользователя ADS1293 Low-Power, 3-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements datasheet (Rev. C).** Data Sheet — США, Texas Instruments, 2014 г.

*А. В. Григорьева, студ.; рук. С. А. Чеченя, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ СИГНАЛОВ ЭЭГ**

Фрактальная размерность (FD) — одна из самых популярных фрактальных функций, которая удобна для анализа биологических процессов, в том числе сигналов электрической активности головного мозга человека [1]. Несмотря на достоинства метода фрактальной размерности (получение информации о самоподобии и самоаффинности исследуемого процесса), он имеет существенный недостаток — большие вычислительные затраты.

В данной работе были рассмотрены наиболее популярные алгоритмы фрактального анализа во временной и частотной областях [2]: коробчатый метод подсчета (BCM), метод Хигучи (HM), дисперсионный фрактальный метод (VFD), детрендированный флуктуационный анализ (DFA), анализ спектральной плотности мощности (PSDA) и метод критических показателей (CEM). В каждом алгоритме были рассмотрены и сопоставлены между собой следующие параметры: время вычисления и точность.

Каждый метод был рассмотрен во временной (BCM, HM, VFD, DFA), либо частотной области (PSDA, CEM). Был проведён анализ алгоритмов оценки фрактальной размерности двух типовых сигналов с заранее известными фрактальными размерностями: дробное броуновское движение и синтетический сигнал в виде функции Вейерштрасса–Мандельброта.

Частотные методы непригодны для применения в обработке в реальном времени. Алгоритм HM дает самые низкие значения среднеквадратического отклонения оценки FD. Алгоритм HM может быть пригоден для оценки FD данных ЭЭГ с высокой точностью, но в то же время потребуется достаточно большое время обработки по сравнению с другими алгоритмами. Метод VDF является самым производительным вычислительным алгоритмом, но при этом имеет недостатки в точности оценки FD. Алгоритм VFD подходит для применения в реальном времени, так как его эффективное вычислительное время составляет менее 10 мс. Среди всех временных методов DFA является «золотой серединой», обеспечивая относительно быстрое время вычисления, а также приемлемую точность по сравнению с другими методами.

### **Литература**

1. **Вассерман Е. Л., Карташев Н. К.** Фрактальная динамика электрической активности мозга. — СПб.: Наука, 2004. — 208 с.
2. **Phothisonothai M., Watanabe K.** Optimal Fractal Feature and Neural Network: EEG Based BCI Applications, 2013, pp. 91–113.



*Д. С. Гомзин, студ.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

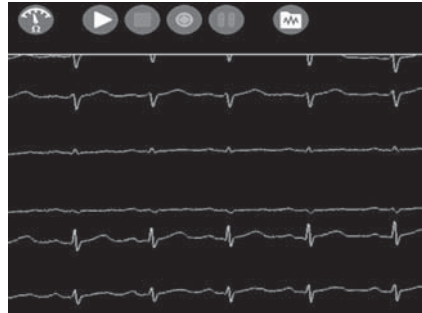
## **РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЙ ЖИЛЕТКИ**

Применение многоэлектродной жилетки позволяет уменьшить время проведения съема электрокардиосигналов (ЭКС) и повысить удобство обследования в задачах пространственного картирования электрической активности сердца на поверхностях эпикарда и торса. Уменьшение времени процедуры достигается закреплением электродов на жилете из эластичного материала. Специально подобранные материалы должны минимизировать модельный ряд и обеспечить универсальность жилета для людей с разной комплекцией. Увеличение числа электродов ведет за собой уменьшение интервалов пространственной дискретизации и увеличение разрешающей способности, что приведет к увеличению точности восстановления картины распределения потенциалов по эпикарду [1].

Нами осуществлен подбор непроводящего эластичного материала для жилета — неопрена. Также был шит и собран воедино жилет с утягивающими ремнями и возможностью регулирования высоты посадки (рис. 1). В ходе испытаний были зарегистрированы электрокардиограммы (рис. 2). С помощью программного обеспечения удалось обработать записи ЭКС и получить распределение потенциала на эллиптической модели торса человека.



**Рис. 1.** Вид жилета



**Рис. 2.** ЭКС, записанные с помощью жилета

### **Литература**

1. **Крамм М.Н.** Эквивалентный электрический генератор сердца для неинвазивной электрокардиодиагностики // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2020. № 2 (32) С. 65–71.

*Н. Смаилов, студ.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ РИТМАМИ СЕРДЦА И ДЫХАНИЯ

С целью оценки уровня стресса у человека исследовался коэффициент взаимной корреляции (КВК) между интервалами дыхания и RR-интервалами [1]. На рис. 1 представлены экспериментально полученные ритмограммы, а на рис. 2 — соответствующие сдвиговые последовательности КВК. Было выявлено, что КВК между RR-интервалами и интервалами вдох-вдох слабо отражает имеющиеся связи исследуемых ритмов (рис. 2.в); КВК между RR-интервалами (рис. 1.а) и интервалами вдох-выдох, выдох-вдох (рис. 1.б), является более информативным и адекватным (рис. 2.а). Но наилучшим образом связь ритмов отображается КВК между RR-интервалами и нормированными сигналами срабатывания датчика пульса на вдох или выдох (рис. 1.в) и рис. 2.б). Высокая корреляционная зависимость при медленном темпе дыхания (рис. 3) может быть обусловлена увеличением амплитуды дыхательной синусовой аритмией, которая повышает эффективность газообмена в лёгких, согласуя во времени лёгочный кровоток с объёмом воздуха в лёгких в каждом дыхательном цикле [2]. При замедлении дыхания происходит увеличение дыхательной вариабельности сердечного ритма за счёт резкого усиления низкочастотных колебаний (LF) 0,1 Гц (рис. 1), при учащении дыхания — снижение вариабельности сердечного ритма.

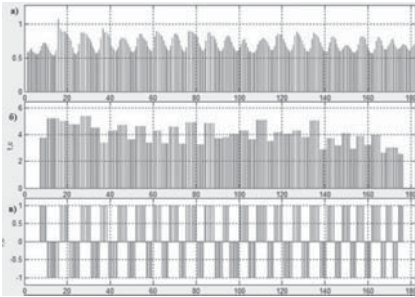


Рис. 1. Ритмограммы

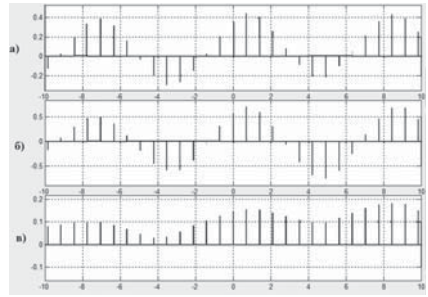


Рис. 2. Взаимнокорреляционные ряды

### Литература

1. **Yumatov E. A., Glazachev O. S., Grechikhin V. A., Kramm M. N., Strelkov N. O.** Information criterion of humans psycho emotional state. *Current Neurobiology*. 2017, 8 (3): p. 89–93.
2. **Н. Е. Кушкова, А. П. Спицин, И. Л. Негодяева.** Влияние дыхания с заданной частотой на вариабельность сердечного ритма у лиц с различным исходным вегетативным статусом. *Методы диагностики и технологии*. 2007 — стр. 80.

*А. Д. Феоктистов, В. А. Подмосковная, студ.;*  
*рук-ли Д. В. Леонов, к. т. н., асс. (НИУ «МЭИ»);*  
*Н. С. Кульберг, к. ф. - м. н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЕМ ИМИТИРУЮЩЕЙ КРОВЬ ЖИДКОСТИ**

Для правильной диагностики необходимо проводить своевременный контроль технического состояния аппаратов УЗИ. Существуют различные методы контроля, один из них — использование фантомов. Для оценки корректности работы прибора в доплеровском режиме необходима система, позволяющая имитировать кровотоки человека. Поэтому целью данной работы являлась создание прототипа системы управления течением имитирующей кровь жидкости.

Система разрабатывается на базе сервопривода iHSV57-30-18-36 мощность 180 Вт, номинальной частотой вращения вала 3000 об/мин, номинальным крутящим моментом 0,6 Нм, 256 микрошагов на полный оборот вала. Управляющие сигналы поступают с микроконтроллера Atmel SAM3X8E платы Arduino DUE. Тактовая частота работы микроконтроллера равна 84 МГц и является наибольшей среди используемых в Arduino микроконтроллеров.

Система снабжена устройствами ввода (кнопки, энкодер), устройствами вывода (LCD дисплей Nokia 5110 и 1602A), считывание информации возможно с microSD карты. На карту были предварительно записаны массивы мгновенных значений скоростей, полученные в результате обработки данных с ультразвукового медицинского диагностического устройства в спектральном доплерографическом режиме, при этом линейный ультразвуковой датчик прикладывался к шее добровольца для записи сигналов кровотока сонной артерии.

Результаты работы могут быть использованы для проверки работоспособности систем оценки параметров кровотока [1–3].

### **Литература**

1. **Леонов Д. В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
2. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владимирский А. В., Морозов С. П.** Алгоритмы фильтрации при медицинской ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 3 (315). С. 48–52
3. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владимирский А. В., Морозов С. П.** Сравнение методов фильтрации при ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 2 (314). С. 15–18.

*Н. А. Лысенко, А. А. Королева, студ.;*  
*рук-ли Д. В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);*  
*Н. С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА В ФАНТОМЕ С АНЕВРИЗМАМИ**

Диагностике аневризм надо уделить особое внимание по причине слабой специфичности (нередко полного отсутствия) симптоматики на ранних стадиях. Смерть в 95% случаев наступает по причине кровоизлияния при разрыве аневризмы. При этом не все аневризмы отчетливо видны на УЗИ. Основные трудности возникают в случаях, когда аневризма окружена плохо проницаемыми или сильно преломляющими ультразвук структурами, например, воздухом, содержащимся в кишечнике. Следовательно, данная проблема приобретает особую актуальность, которая направлена на поиск способов диагностики скрытых аневризм по косвенным признакам, а именно по параметрам гемодинамики участков сосуда доступных для УЗИ.

Цель работы заключается в исследовании движения имитирующей кровь жидкости по модели сосудов с мешковидными аневризмами различных размеров.

В программе ANSYS была разработана геометрическая модель сосуда с аневризмой, проведено математическое исследование скорости кровотока и выявлены предполагаемые отклонения скорости на расстоянии 35 мм от места локализации аневризмы. Максимальное отклонение составляет 38,5% от скорости кровотока в модели сосуда без аневризмы. Для проверки результатов математического моделирования был создан физический образец, содержащий модель аневризмы, и разработан насос для подачи имитирующей кровь жидкости. При помощи ангиографических режимов работы аппаратов УЗИ и МРТ были построены карты распределения скорости потока и сопоставлены с математической моделью.

Результаты работы могут быть использованы для проверки качества работы систем для оценки параметров кровотока [1–3].

### **Литература**

1. **Леонов Д. В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакта // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
2. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владзимирский А. В., Морозов С. П.** Алгоритмы фильтрации при медицинской ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 3 (315). С. 48–52.
3. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владзимирский А. В., Морозов С. П.** Сравнение методов фильтрации при ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 2 (314). С. 15–18.

*А. А. Насибуллина, Л. С. Иванова, студ.;  
рук-ли Д. В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);  
Н. С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА БЛОКА РЕГУЛИРОВКИ РЕЖИМА ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОКАЛЬЦИНАТОВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА**

В настоящее время ультразвуковое исследование является наиболее доступным и безопасным средством выявления патологий в организме человека. Рак молочной железы занимает первое место в структуре онкологической заболеваемости и смертности у женщин [1]. Микрокальцинаты являются ранними признаками злокачественных образований в 40% случаев и в половине случаев образования непальпируемые. Возможности большинства аппаратов УЗИ не позволяют выявить микрокальцинаты. Были сделаны попытки повысить чувствительность системы к подобным объектам за счёт использования мерцающего артефакта [2–4].

Данная работа посвящена созданию блока регулировки режима обнаружения микрокальцинатов. Режим основан на анализе сигналов от таких объектов [4]. В работе рассматриваются причины возникновения микрокальцинатов, методы их выявления, выполняется моделирование ткани молочной железы с образованием кристаллов кальция. Кристаллы кальция встречается в организме довольно часто, их появление может быть следствием воспалительного процесса. Сгруппированная микрокальцинация в молочных железах может говорить о ранних проявлениях рака молочной железы, а иногда даже стать единственным симптомом.

Результаты работы могут быть интересны студентам и разработчикам медицинских приборов.

### **Литература**

1. **Каприн А. Д.** Злокачественные новообразования в России в 2015 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, Г. В. Петровой. — М.: РИИС ФИАН, 2016. — 250 с.
2. **Леонов Д. В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакта // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
3. **Leonov D, Kulberg N, Gromov A, Fin V, Usanov M, Kovbas V, Sergunova K, Strelkov N, Vladzimirskiy A, Morozov S.** **Ultrasound Stone Detection: Discovery and Analysis of Two Stone-Related Components in Reflected Signal and Their Role in Etiology of Twinkling Artifact // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery.** 2018. Т. 13. № Suppl 1. P. 10.
4. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Громов А. И., Морозов С. П., Владимирский А. В.** Режим обнаружения твердых минеральных включений при акустической визуализации // Акустический журнал. 2018. № 5. С. 618–631.

*П. Д. Соловьёва, студ.;  
рук-ли Д. В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);  
Н. С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **КОРРЕКЦИЯ ФАЗОВЫХ АБЕРРАЦИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ**

Качество визуализации тканей и сосудов при транскраниальном ультразвуковом исследовании низкое. Это вызвано расфокусирующим действием костей черепа и тем, что в них происходит поглощение значительной части акустической энергии, особенно на высоких частотах. Скорость звука в костях примерно вдвое больше, что в совокупности с неровностью поверхности приводит к расфокусировке луча, а затухание по крайней мере на порядок выше, чем в мягких тканях [1]. Это приводит к ухудшению пространственной и контрастной разрешающих способностей.

Цель работы состояла в сравнении методов улучшения диагностических ультразвуковых изображений мозга и сосудов головы, получаемых через кости черепа.

Основные методы заключаются в: а) проведении УЗИ на пониженной частоте (<1 МГц), но такой способ не позволяет получить снимки хорошего разрешения; б) внесении компенсирующих поправок при фокусировке, рассчитанных по предварительно проведённым КТ или МРТ, но проводить КТ или МРТ не дёшево и не всегда возможно; в) использовании «маяка» в виде миниатюрного ультразвукового излучателя, введённого в область интереса через сосуды, или в виде кавитационных пузырьков, создаваемых в тканях мозга особым терапевтическим излучателем, но инвазивность и кавитация могут привести к опасным последствиям [1]; г) использовании опорного излучателя, прилегающего к поверхности головы в височной области с противоположной стороны от диагностического секторного датчика, датчики на голове фиксируются при помощи шлема [2, 3].

Результаты работы могут быть интересны желающим познакомиться с современным уровнем развития транскраниальной ультразвуковой диагностики.

### **Литература**

1. **Kyriakou A, Neufeld E, Werner B, Paulides MM, Szekely G, Kuster N.** A review of numerical and experimental compensation techniques for skull-induced phase aberrations in transcranial focused ultrasound // *Int J Hyperthermia*. 2014 Feb;30(1):36–46. <https://doi.org/10.3109/02656736.2013.861519>
2. **Leonov D., Kulberg N., Osipov L., Skosirev S., Grigorev G., Vladzimirskiy A., Morozov S.** Aberration correction in transcranial ultrasound imaging // *Int J CARS* (2020) 15 (Suppl 1): S157-S158. <https://doi.org/10.1007/s11548-020-02171-6>
3. **Д. В. Леонов, Н. С. Кульберг, Л. В. Осипов, Г. К. Григорьев, С. В. Скосырев, А. В. Владзими́рский, С. П. Морозов.** Система для транскраниальной ультразвуковой диагностики // *Медицинская техника* (в печати).

*Л. А. Суслина, Д. В. Лейченко, студ.;*  
*рук-ли Д. В. Леонов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»);*  
*Н. С. Кульберг, к.ф.-м.н. (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ДЛЯ ТРАНСКРАНИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Кровоснабжение головного мозга осуществляется внутренними сонными и позвоночными артериями, которые в основании мозга связаны друг с другом и образуют артериальный виллизиев круг [1]. 96% всех внутричерепных аневризм встречаются в этом отделе. 46% больных умирают в течение месяца после разрыва аневризм. Наблюдается нехватка высококлассных специалистов транскраниального УЗИ, способных обнаруживать внутричерепные аневризмы, одной из причин этого является отсутствие фантомов для отработки навыков сонации через окна прозрачности черепа взрослого человека.

Целью работы разработка фантома головы для транскраниальных ультразвуковых исследований. Фантом содержит имитации височной кости и сосудов виллизиевого круга. Модель строилась по результатам ангиографического исследования сосудов головы пациента, проведенного на компьютерном томографе, чтобы результаты, получаемые при исследовании фантома, были максимально приближены к клиническим и могли быть полезны в лечебной практике. Данные томограммы экспортировались в формате STL для дальнейшей обработки в программе 3D моделирования Meshmixer, где создавались стенки сосуда и добавлялись штуцеры для подключения системы управления потоком, формировалась поддержка для 3D фотолиитографической печати. При печати использовался звукопроницаемый фотополимер. В работе приводятся сонограммы разработанного фантома, карты распределения скорости в модели сосудов.

Разработанный фантом полезен для обучения проведению УЗИ мозга и сосудов через кости черепа и улучшения доплеровских режимов [2–4].

### **Литература**

1. **Greenberg M. S.** Handbook of Neurosurgery. — New York, 8<sup>th</sup> ed., 2016.
2. **Леонов Д. В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
3. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владимировский А. В., Морозов С. П.** Алгоритмы фильтрации при медицинской ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 3 (315). С. 48–52
4. **Леонов Д. В., Кульберг Н. С., Фин В. А., Подмосковная В. А., Иванова Л. С., Шипаева А. С., Владимировский А. В., Морозов С. П.** Сравнение методов фильтрации при ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока // Медицинская техника. 2019. № 2 (314). С. 15–18.

Т. Б. Мишенина, студ.; рук. Я. А. Куприянова, асс. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ, ВНОСИМОЙ ПРЕДПОЛОЖЕНИЕМ ОБ ОДНОРОДНОСТИ СРЕДЫ, ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

Обратная задача электрокардиографии призвана повысить информативность и чувствительность обследования сердечно-сосудистой системы. Она состоит в реконструкции распределения эквивалентных источников сердца по потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки. В настоящей работе исследуется алгебраический алгоритм реконструкции простого  $\gamma$  и двойного  $D$  слоев эквивалентных токовых источников на поверхности сферического квазиэпикарда [1].

Алгебраический алгоритм сформулирован в предположении об однородности и безграничности проводящей среды, в которой расположены эквивалентные источники. С помощью неоднородной электродинамической модели грудной клетки проведена оценка погрешности, вносимой этим предположением. Для этого в каждый дискретный момент времени одиночного кардиоцикла (КЦ) были рассчитаны потенциалы на поверхности грудной клетки с использованием однородной и неоднородной моделей грудной клетки и модели генератора сердца [2]. По полученным данным проведена реконструкция распределений  $\gamma$  и  $D$  и оценена корреляция с аналогичными распределениями, рассчитанными непосредственно по модели генератора сердца. Результаты исследования представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Снижение коэффициента корреляции Пирсона

Интервал времени	P-зубец	QRS-комплекс	T-зубец	весь КЦ
Простой слой, $\gamma$	14%	19%	22%	19%
Двойной слой, $D$	12%	14%	16%	14%

Из анализа полученных результатов следует, что коэффициент корреляции снижается, в среднем, на 19% для  $\gamma$  и на 14% для  $D$ . В целом, качество реконструкции остается приемлемым.

### Литература

1. Куприянова Я. А., Жихарева Г. В., Мишенина Т. Б., Куропаткин С. А. Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии // 14-я междунар. научн. конф. ФРЭМЭ'2020 — Владимир–Суздаль. Доклады. Книга 1.
2. Куприянова Я. А., Жихарева Г. В., Стрелков Н. О., Глушенков П. В. Моделирование электрической активности сердца с учетом неоднородного строения грудной клетки // 13-я междунар. научн. конф. ФРЭМЭ'2018 — Владимир–Суздаль. Доклады. Книга 1.



*Д. О. Изюмцев, студ.; рук. Г. В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИОКАРДА**

Для апробации и исследования алгоритмов ранней диагностики патологий сердца, например, разработки алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии [1], на кафедре основ радиотехники МЭИ была разработана математическая модель электрической активности сердца на базе клеточных автоматов [2]. Эта модель позволяет рассчитывать потенциалы в любой точке пространства, окружающего сердце, в различные моменты времени одиночного кардиоцикла. Недостатком модели, затрудняющим ее использование, являлось отсутствие программного интерфейса.

Целью представленной работы являлось создание программного интерфейса программы моделирования электрической активности сердца, с возможностью вариации параметров модели и сохранением результатов.

Интерфейс был создан в пакете прикладных программ в среде GUI. В результате была получена программа, способная выполнять различные расчеты: состояний клеточных автоматов, отражающих физиологическое состояние поверхности миокарда в различные моменты времени кардиоцикла (таких как покой, деполяризация, рефрактерность и реполяризация), карт электрокардиографических потенциалов на поверхности грудной клетки, потенциалов на квазиэпикарде, эквивалентных простого и двойного слоев токовых источников на квазиэпикарде. В программе заложена возможность учета в расчетах таких типов патологий миокарда как ишемия и некроз, их положения и размеров. В случае ишемии распространение потенциалов действия между клеточными автоматами осуществляется с задержкой, а при некрозе распространение вовсе не осуществляется. Предусмотрена визуализация результатов всех расчетов, а также их сохранение в отдельные файлы.

Таким образом, разработанный программный интерфейс позволил объединить набор отдельных файлов и функций модели в общую программу и существенно облегчил ее использование в исследовательских целях.

### **Литература**

1. **Zhikhareva G. V., Kramm M. N., Bodin O. et al.** Conversion from electrocardiosignals to equivalent electrical sources on heart surface. BMC Bioinformatics 21, 87 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12859-020-3354-8>.
2. **Жихарева Г. В., Куприянова Я. А., Батенин В. В., Изюмцев Д. О.** Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения = Aghajanian's reading: материалы III Всероссийской НПК с международным участием. М.: РУДН, 2020.

*Исакова Н. И., студ.; рук. Н. О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПУЛЬСОКСИМЕТР С BLUETOOTH НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ MAX30102**

Развитие технологий оптического анализа поспособствовало возникновению нового метода, способного обнаружить множество патологий — пульсоксиметрии. В настоящее время пульсоксиметрия представляет особый интерес, поскольку является быстрым и неинвазивным методом измерения насыщенности крови кислородом и числа сердечных сокращений. Наилучшими приборами для проведения данной процедуры являются пульсоксиметры.

Данная работа направлена на создание портативного пульсоксиметра с интерфейсом Bluetooth, выполненного на основе микроконтроллера Atmega32u4, с использованием микросхемы MAX30102 [1]. Питание всего устройства осуществляется от аккумулятора, устройство принимает пользовательский ввод с помощью кнопок и выводит информацию на LCD дисплей.

Программирование микроконтроллера осуществляется в среде Arduino [2], благодаря чему происходит вычисление искомым параметров и вывод их на экран. Дальнейшая передача информации возможна при по интерфейсам USB или Bluetooth.

Особенностью данной работы является добавление Bluetooth-интерфейса в устройство, что существенно расширяет возможности данного устройства, позволяя производить обработку данных при помощи программы для персонального компьютера или мобильного устройства пользователя. Такие устройства обычно имеют большие объемы памяти и предоставляют возможность накапливать статистические данные о сатурации крови пациента кислородом.

Достоинствами данного прибора являются широкие возможности его применения и его мобильность. Разработанное устройство может быть использовано для проведения лабораторных работ по курсу «Медицинские приборы» на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

### **Литература**

1. High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/sensor-interface/MAX30102.html>
2. Arduino — Home [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc>

*А. И. Щербакова, студ.; рук. Я. А. Куприянова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭКГ**

Решение обратной задачи электрокардиографии (ЭКГ) состоит в локализации эквивалентных источников на поверхности квазиэпикарда (поверхности, окружающей сердце в непосредственной близости от него), по значениям потенциалов, измеренных на поверхности грудной клетки и призвано повысить чувствительность ЭКГ-обследований. Одним из алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии является алгебраический алгоритм реконструкции простого слоя эквивалентных токовых источников  $\gamma S$  на сферической поверхности квазиэпикарда [1].

В настоящей работе предложен алгоритм, который путем обработки полного массива  $\gamma S$  (для всех точек поверхности квазиэпикарда и дискретных моментов времени одиночного кардиоцикла) формирует массив физиологических состояний поверхности сердца.

Разработка и апробация алгоритма проведены с помощью математической модели генератора сердца [2]. Для этого проанализированы зависимости  $\gamma S(t)$ , рассчитанные по модели, в различных областях поверхности квазиэпикарда (предсердиях и желудочках), проведено сопоставление физиологических состояний миокарда с видом временных зависимостей  $\gamma S(t)$  и установлены признаки, позволяющие однозначно определить по временной зависимости  $\gamma S(t)$  состояния квазиэпикарда, отражающие физиологические состояния миокарда (покой, деполяризацию, плато и реполяризацию) в каждый дискретный момент времени кардиоцикла.

Относительное отклонение результатов восстановления физиологических состояний по результатам реконструкции от исходных состояний математической модели генератора сердца составляет порядка 1,5%. Предложенный алгоритм позволяет наблюдать динамику смены физиологических состояний на сферической поверхности квазиэпикарда по результатам реконструкции простого слоя эквивалентных токовых источников.

### **Литература**

1. **Zhikhareva G. V., Kramm M. N., Bodin O. et al.** Conversion from electrocardiosignals to equivalent electrical sources on heart surface. BMC Bioinformatics 21, 87 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12859-020-3354-8>.
2. **Жихарева Г. В., Куприянова Я. А., Батенин В. В., Изюмцев Д. О.** Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения = Aghajanian's reading: материалы III Всероссийской НПК с международным участием. М.: РУДН, 2020.

*Д. И. Левченков, студ.;*  
*рук. Г. В. Жихарева, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИОКАРДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ**

На кафедре основ радиотехники НИУ «МЭИ» разработана математическая модель электрической активности миокарда на базе клеточных автоматов поверхностного типа [1]. Эта модель позволяет рассчитывать потенциалы в любой точке пространства, окружающего сердце, в различные моменты времени одиночного кардиоцикла и предназначена для апробации и исследования алгоритмов ранней диагностики заболеваний сердца, в частности, для разработки алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии [2].

Целью настоящей работы является модификация геометрии модели путем перехода к объемным клеточным автоматам для возможности описания электрического состояния сердца при субэндокардиальных и субэпикардиальных локализациях ишемических повреждений миокарда, когда поражена не вся толщина сердечной мышцы, а только ее часть [3].

Объем миокарда набирается из нескольких слоев клеточных автоматов формы усеченного конуса с гексагональными основаниями. Исходя из усредненных размеров толщины стенок предсердий и желудочков [4], в предсердиях выбрано три слоя, в желудочках — восемь; толщина каждого слоя составляет 1 мм. При такой дискретизации, у ячеек внутренних слоев число соседних ячеек получается равным 21, у ячеек крайних слоев — 13.

Разработанная геометрическая модель миокарда позволит описывать динамику возбуждения сердца с учетом особенностей распространения автоволн в различных участках сердечной мышцы, в том числе и при наличии поражений типа ишемии и некроза при их субэндокардиальных и субэпикардиальных локализациях.

### **Литература**

1. **Жихарева Г. В., Куприянова Я. А., Батенин В. В., Изюмцев Д. О.** Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения = Aghajanian's reading: материалы III Всероссийской НПК с международным участием. М. РУДН, 2020.
2. **Zhikhareva G. V., Kramm M. N., Bodin O. et al.** Conversion from electrocardiosignals to equivalent electrical sources on heart surface. BMC Bioinformatics 21, 87 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12859-020-3354-8>.
3. **Мурашко В. В., Струтынский А. В.** Электрокардиография. М. МЕДпресс-информ, 2016.
4. **Сапин М. Р., Брыксина З. Г.** Анатомия человека. В 2-х книгах. Книга 2. М. Изд-во «Academia», 2006.

*А. А. Дергачев, Е. Н. Голубева, студ.;*  
*рук. Е. В. Шалимова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСТРОЙСТВО СИГНАЛИЗАЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОСАНКИ**

Пандемия COVID-19 привела к переходу на удаленный режим работы и самоизоляцию множества людей разных возрастов. На осанку человека сильно влияет ограничение обычного режима двигательной активности, длительное сидение в положении. При длительном неправильном положении опорно-двигательного аппарата (ОДА) [1, 2] возникают нарушения, приводящие к дисфункциям различных систем организма.

Для контроля за правильным физиологическим положением корпуса тела человека в положении сидя разработано устройство сигнализирующее изменение нормального положения осанки на рабочем месте.

Задача устройства — проинформировать человека о необходимости вернуть осанку в правильное положение, а также на ранних стадиях предотвратить развитие заболеваний.

Устройство работает на плате Arduino Pro Mini на базе микроконтроллера Atmega328 [3]. Считывающим устройством является 3-х осевой гироскоп и акселерометр GY-521 [4] на чипе MPU 6050. Использование гироскопа и акселерометра при разработке алгоритмов фиксации изменения осанки позволяет повысить точность полученных данных. А считывание данных в 3-х измерениях даёт возможность анализа осанки в трёх плоскостях тела человека. Корпус устройства разрабатывается с учетом физиологических особенностей человека и сделан из ABS пластика с применением аддитивных технологий. Крепление устройства осуществляется на спину. Способ сигнализации об отклонении осанки от нормального положения — вибромотор или пьезоизлучатель.

### **Литература**

1. **Бабыдов Е. А.** Обзор современных методов коррекции кифолордотической осанки / Е. А. Бабыдов // Вестник новых медицинских технологий. — 2015. — Т. 9.
2. **Седляр Ю. В.** Анализ технологий мониторинга осанки школьников и студенческой молодежи в процессе физического воспитания / Ю. В. Седляр // Физическое воспитание студентов. — 2011. — № 2.
3. Аппаратная часть платформа Arduino // Электронная публикация: <http://www.arduino.cc>
4. Акселерометр и гироскоп MPU6050 // Электронная публикация: <http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-3-2018-1.pdf>

*Е. В. Лапонова, студ.; рук. М. Н. Крамм, к.т.н., доц.. (НИУ «МЭИ»)*

## ЗАПИСЬ И АНАЛИЗ ЗВУКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РЕЧИ

Целью исследования являлось изучение возможностей автоматизированного подхода к обнаружению дефектов в речи. Такой подход ориентирован на предоставление логопедам вспомогательного инструмента для выявления и коррекции дефектов речи. В работе использовался программно-аппаратный комплекс, в основе которого лежит метод мел-частотных кепстральных коэффициентов извлечения признаков. Для оценки качества произношения фонем применялся метод корреляции.

Проверялась работоспособность программно-аппаратного комплекса на устойчивость и повторяемость получаемых оценок. Проверка производилась для мужского и женского голосов с целью оценки влияния различий пола голоса на результаты исследования, а также подтверждения того, что программа одинаково хорошо распознает как с мужской, так и с женский голос. Сравнивались между собой два звука одного человека, а потом два звука между разными людьми и рассчитывалось значение коэффициента корреляции  $r$  между векторами усреднённых значений мел-частотными спектральных коэффициентов.

Наглядным способом визуализации при сравнении звуков является диаграмма рассеяния между 24-элементными векторами спектральных коэффициентов (рис. 1, а) для  $r = 0,86$  и б) для  $r = 0,01$ .

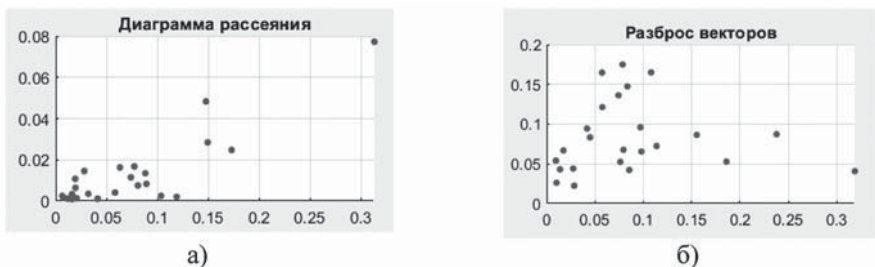


Рис. 1. Диаграммы рассеяния

Подтвердилось, что программа хорошо справляется с распознаванием звуков речи человека, однако для выявления речевых дефектов необходимо, чтобы анализируемый и эталонный звуки принадлежали людям одного пола.

### Литература

1. Малькова Е. С., Шабалина О. А. Методы распознавания речи в задаче автоматизированного выявления дефектов произношения. В.: Известия ВГТУ, 2015, вып. № 2 (157)

*Т. С. Поддубная, П. В. Курманова, М. А. Тимофеева, студенты;  
рук. Т. В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АППАРАТОВ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В УСЛОВИЯХ COVID-19**

Во всем мире число людей, заразившихся короновирусной инфекцией, продолжает расти, и далеко не для всех болезнь проходит без последствий. О том, что новый вирус может поражать сердце, первыми сообщили китайские патологоанатомы, проводившие вскрытие тел пациентов, скончавшихся от Covid-19, позже это подтвердили кардиологи из других стран. Также была выявлена способность вируса влиять на свертываемость крови, что может приводить к инсультам, жертвами которых, по статистике, становились пациенты до 50 лет, перенесшие заболевание в легкой форме. Поэтому несомненна актуальность совершенствования систем и аппаратов искусственного кровообращения (АИК), от которых во многом зависит успех борьбы с последствиями Covid-19 [1].

Было проанализировано современное состояние биотехнических систем искусственного жизнеобеспечения, прежде всего, АИК, а также рассмотрены кристаллоидные и коллоидные плазмозаменители с различными компонентами, используемыми для их заполнения. Выявлена перспективность такого направления, как разработка искусственного носителя кислорода, а именно получение перфторхимических соединений. Рассмотрены отечественные и зарубежные препараты.

Определены перспективные направления развития АИК, в частности, рассмотрены портативные аппараты искусственного кровообращения, например, Sorin LifeBox, предназначенные для работы с пациентами, нуждающимися в непрерывной поддержке сердечно-дыхательной системы во время транспортировки в стационар, а также для проведения экстренных процедур за пределами больницы. Такие аппараты полностью адаптированы для работы на наземном и воздушном транспорте, что также является их преимуществом в условиях пандемии [2].

### **Литература**

1. **Евгения Сосина.** Чем грозит перенесенный COVID-19 (URL: <https://yandex.ru/turbo/news.com/s/p/128563163-ot-sboev-serdca-do-povrezhdenij-mozga-chem-grozit-perenesennyj-covid-19/>)
2. **Бунятян А. А.** Искусственное кровообращение (URL: [http://www.ordodeus.ru/Ordo\\_Deus9Iskussnvennoe\\_krovoobrazhshenie.html](http://www.ordodeus.ru/Ordo_Deus9Iskussnvennoe_krovoobrazhshenie.html))

*А. М. Жиркова, студ.; рук. Т. В. Истомина, д.т.н. проф.;  
Е. В. Копылова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА**

Настоящая работа посвящена актуальной теме повышения помехоустойчивости алгоритмов обработки ЭКС на основе применения метода вейвлет-преобразования.

Основная цель состояла в поиске путей решения задачи быстрого обнаружения QRS-комплексов путем подбора пороговых коэффициентов.

Был обоснован выбор метода вейвлет-преобразования для исследования свойств биологических сигналов, связанный, прежде всего, с его уникальной возможностью работы как в частотной, так и во временной области [1]. В качестве программного обеспечения, позволяющего решить поставленную задачу, выбрана математическая среда MATLAB. Обзор применений методов вейвлет-анализа для обработки биологических сигналов показал целесообразность использования дискретного вейвлет-преобразования для выделения особенностей сигнала и подавления помех. В результате исследований был выбран тип вейвлет-преобразования для помехоустойчивого определения QRS-комплексов, а именно, db4, способствующий поиску наилучших коэффициентов разложения [2].

Составлена методика вейвлет-преобразования ЭКС в среде MATLAB. Разработаны помехоустойчивые решающее правило и алгоритм обнаружения QRS-комплексов при различных помехах. Выполнено тестирование данного алгоритма на модели реального ЭКС и проведена оценка его результатов. Проведена оценка диагностической значимости исследования на 100 QRS-комплексах ЭКС и получена диагностическая эффективность 95%.

Результаты могут служить теоретической базой для последующей разработки решающих правил и алгоритмов анализа ЭКС. По итогам исследований можно сделать вывод, что использование методов вейвлет-анализа ЭКС позволит выработать новые подходы к автоматическому распознаванию нарушений в работе сердца в условиях сложных помех.

### **Литература**

1. **Истомина Т. В., Чувькин Б. В., Щеголев В. А.** Применение теории wavelets в задачах обработки информации (Монография). — Пенза: изд-во ПГУ, 2000, 188 с.
2. **MATLAB WaveletToolbox** [Электронный ресурс] — URL: <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book1/index.php>.



*А. С. Ильченко, студ.; А. С. Савилова, студ.;  
рук. Т. В. Истомина д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),  
рук. В. В. Истомин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),*

## **СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА**

В настоящее время операция по пересадке сердца входит в международные стандарты лечения терминальной стадии. Однако данное лечение ограничено недостатком донорских сердец. Ограниченное количество доноров и увеличивающаяся потребность в механической поддержке работы органа при бивентрикулярной дисфункции обусловило необходимость развития терапевтических альтернатив по решению проблемы застойной недостаточности кровообращения, таких как искусственное сердце.

Целью данного исследования является определение и анализ принципов работы существующих и применяющихся на сегодняшний день разработок в области создания механического искусственного сердца [1], их преимуществ и недостатков, а также выявление перспективных направлений развития данной научной области.

В данной работе были рассмотрены устройство, возможности применения, преимущества и недостатки современных искусственных аппаратов кровообращения AbioCor, BiVACOR, CARMAT, SynCardia [2], а также аппарата вспомогательного кровообращения «Спутник».

Выявлена взаимосвязь показателей «цена — качество» для наиболее перспективных современных аппаратов искусственного кровообращения.

Проанализированы наиболее частые осложнения, вызванные применением механических искусственных сердец [3]. Сделаны выводы о целесообразности и перспективах их пересадки вместо трансплантации донорских сердец на долгие сроки в обозримом будущем.

### **Литература**

1. **Britannica.** Artificial heart [Электронный ресурс] <https://www.britannica.com/science/artificial-heart>.
2. **Corbin E. Goerlich, O. H. Frazier, William E. Cohn.** Previous challenges and current progress—the use of total artificial hearts in patients with end-stage heart failure. Journal «Expert Review of Cardiovascular Therapy», 2016.
3. **US National Library of Medicine National Institutes of Health.** Present and future perspectives on total artificial hearts [Электронный ресурс]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4250545>.

*Е. Г. Калистратова, студ.;*  
*рук. В. С., Фланден, старш. преп. кафедры ОПТ (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ АТЕРОСКЛЕРОЗА**

Атеросклероз коронарных артерий — распространенное заболевание, приводящее к ишемии органов и тканей и влекущее за собой серьезные последствия. Данная патология часто заканчивается инсультом или инфарктом, поэтому атеросклероз коронарных артерий представляет серьезную угрозу для жизни человека. Исследование современных методов лечения и применяемых ныне аппаратов, а также разработка принципиально новых медицинских комплексов, дает возможность врачам проводить операции на принципиально новом уровне, способствуя более качественному и долговечному результату [1].

Разрабатываемый прототип медицинского аппарата может способствовать снижению инвазивности проводимых ныне операций, а также способствует минимизации негативного влияния на внутренние органы, в том числе печень, при медикаментозном лечении атеросклероза коронарных артерий.

В данном докладе представлены обзоры мирового рынка современных аппаратов, технических характеристик отдельных узлов, а также примеры отдельных, наиболее эффективных комплексов, аналогичных разрабатываемому прототипу, успешно применяемых сейчас для катетерной абляции. На основе анализа полученных данных, рассмотрены возможные варианты реализации отдельных узлов уникального аппарата, обеспечивающего оптимальное соотношение цена-качество, простоту методики, а также универсальность метода для разных стадий заболевания и различных пациентов. В ходе работы, анализируется не только мировой, но и личный опыт по созданию прототипов медицинских приборов, учитывающий современные технические средства моделирования и анализа. Приведена концепция устройства.

В дальнейшем планируется собрать крупномасштабный прототип рабочего аппарата, с целью моделирования влияния выбранного воздействия на исследуемую патологию и исследования эффективности устройства.

### **Литература**

1. **Сайт National Center of Biotechnology information.** Статья «Laser Coronary Endarterectomy: Proposed Treatment for Diffuse Coronary Atherosclerosis» — электронный ресурс — открытый доступ — URL: [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov) (дата обращения 03.11.2020)

**Направление II**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**Information technologies**

---

**Руководитель направления:**

к.т.н., доцент Вишняков Сергей Викторович —  
директор института информационных  
и вычислительных технологий НИУ «МЭИ»

**Секция 12**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**  
**Mathematical modeling**

---

*Председатель секции: к.ф.-м.н. Вестфальский Алексей Евгеньевич*

*Секретарь секции: к.ф.-м.н. Бирюков Алексей Михайлович*

В. В. Светлова, студ.;  
рук. А. А. Амосов, д. ф. - м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ

Рассматривается модель Ходжкина–Хаксли генерации и распространения потенциала действия [1].

$$\begin{cases} \sigma \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = C_m \cdot \frac{d\varphi}{dt} + g_L \cdot (\varphi - \varphi_L) + \overline{g_{Na}} \cdot m^3 \cdot h \cdot (\varphi - \varphi_{Na}) + \overline{g_K} \cdot n^4 \cdot (\varphi - \varphi_K) \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n(\varphi) \cdot (1 - n) - \beta_n(\varphi) \cdot n \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m(\varphi) \cdot (1 - m) - \beta_m(\varphi) \cdot m \\ \frac{dh}{dt} = \alpha_h(\varphi) \cdot (1 - h) - \beta_h(\varphi) \cdot h \end{cases}$$

Искомыми являются функция изменения потенциала действия  $\varphi(x, t)$  и функции, играющие роль воротных механизмов, открывающих и закрывающих натриевые и калиевые каналы —  $n$ ,  $m$  и  $h$ , определенные на  $(0, L) \times (0, T)$ , где  $0 < L$  — длина нервного волокна. Здесь  $C_m$  — емкость мембраны,  $\sigma = r/(2\rho_a)$ ,  $r$  — радиус мембраны,  $\rho_a$  — удельное сопротивление аксоплазмы,  $g_L$ ,  $g_{Na}$ ,  $g_K$  — максимальные ионные проводимости.

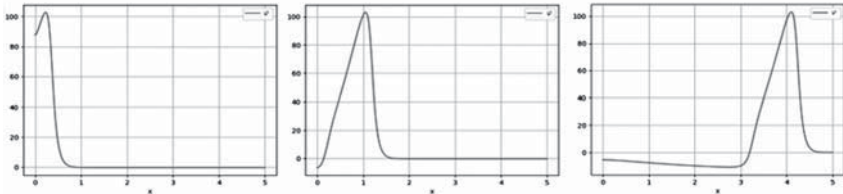


Рис. 1.

В настоящей работе была проведена программная реализация моделей с учетом начально-краевых условий. В результате был установлен характер распространения потенциала действия по координате при различных внешних воздействиях на нервное волокно. Так, например, на Рис. 1 представлен характер распространения потенциала действия при однократном возбуждении на левом конце в различные фиксированные моменты времени.

Работа выполнена при поддержке: Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSWF-2020-0022).

### Литература

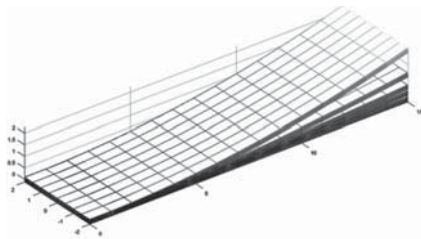
1. **Hodgkin A. L.** A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve / A. L. Hodgkin, A. F. Huxley // Journal of Physiology. — 1952. — Vol. 117. — P. 500–544.

*С. В. Ушанов, студ.;*  
*рук. Т. Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

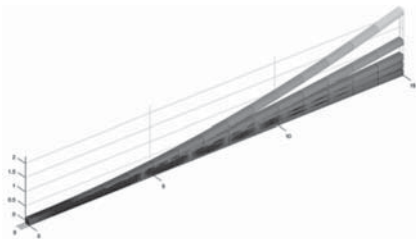
## МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Математическая модель базируется на решении краевой задачи теории упругости в неклассической постановке, полученной в работе [1]. Областью определения уравнений равновесия и совместности деформаций, а также граничных условий служит конечное состояние. Это состояние равновесия считается заданным, а не искомым. Иначе невозможно математически корректно указать положения сил, распределенных в объеме и на поверхности тела.

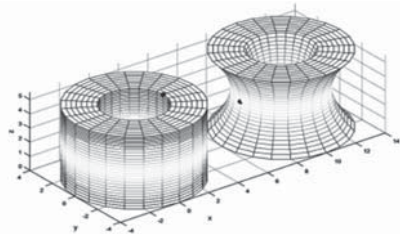
Осуществлена численная реализация вышеуказанной математической модели, приводятся результаты численных экспериментов по описанию процессов конечных (больших) деформаций. В модели используется линейный тензор деформаций Коши. Расчеты выполнены в системе Matlab при изгибе пластин и стержней (рис. 1, 2), растяжении-сжатии толстостенного цилиндра (рис. 3), а также кручении пластины (рис. 4) из различных конструкционных материалов (сталь, алюминий, резиноподобные композиты).



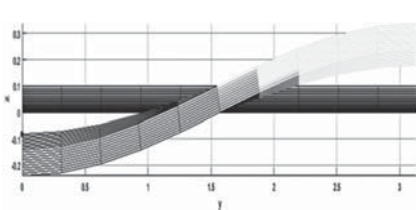
**Рис. 1.** Консольно закрепленная пластина при разных значениях нагрузки



**Рис. 2.** Моделирование деформаций изгиба консольной балки



**Рис. 3.** Моделирование деформаций растяжения цилиндра



**Рис. 4.** Моделирование деформаций кручения пластины

### Литература

1. Дуйшеналиев Т. Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. М.: Издательство МЭИ, 2017.

*И. В. Женькова, студ.;  
рук. М. Ф. Черепова, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГЛАДКОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ДИНИ**

В полосе  $D = \{(x, t) | x \in (-\infty, +\infty), 0 < t < T\}$ , где  $T > 0$  — произвольное фиксированное число, рассматривается задача Коши для параболического уравнения с переменными коэффициентами:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a(x, t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b(x, t) \frac{\partial u}{\partial x} + c(x, t)u = f(x, t)$$

$$u(x, 0) = 0, x \in (-\infty, +\infty),$$

Предполагается, что коэффициенты уравнения ограничены и равномерно непрерывны в  $D$  с модулем непрерывности, удовлетворяющим дважды условию Дини, а правая часть уравнения  $f$  непрерывна в  $D$ , локально Дини непрерывна по  $x$  ([1]) в  $D$  и удовлетворяет условию

$$|f(x, t)| \leq C \frac{\omega(t^{1/2})}{t^{1/2}}, (x, t) \in D,$$

для некоторой постоянной  $C > 0$  и некоторой функции типа модуля непрерывности  $\omega$  (определение функций типа модуля непрерывности см., например, в [2]). В частности, функция  $f$  может расти определенным образом при приближении к прямой  $t=0$ .

Доказаны оценки в пространстве Дини для решения задачи и его производной по пространственной переменной. Для доказательства используется метод работы [3]. В случае пространств Гельдера полученный результат следует из работы [3].

### **Литература**

1. **Женькова И. В.** Гладкость решения задачи Коши для уравнения теплопроводности в пространстве Дини // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать шестая межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020. — 187 с.
2. **Дзядык В. К.** Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами. — М., Наука, 1977.
3. **Черепова М. Ф.** Solvability of the Cauchy Problem for a Parabolic Equation with Unbounded Coefficients // Journal of Mathematical Sciences. 2015. Vol. 210. № 5. Pp. 736–757.

*Е. И. Сочнева, студ.;*  
*рук. А. Е. Вестфальский, к. ф. - м. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ НЕКОТОРЫХ АГРЕГАТОВ ТЭС**

Целью проекта по созданию цифровой модели ТЭС является разработка аналитического программного продукта для сравнения расчетных и реальных данных тепловой станции и выявления отклонений в работе, что должно помочь устранить неполадки и максимизировать КПД станции.

Для разработки цифрового двойника ТЭС необходимо создать математические модели отдельных компонентов пусковой схемы. В пусковую схему станции входят: газотурбинная установка, котел-утилизатор, паровая турбина, системы паропровода и трубопровода, вспомогательное оборудование.

Моделирование газотурбинной установки (ГТУ) и паровой турбины (ПТ) заключается в расчете их основных энергетических показателей. Энергетические показатели ГТУ зависят от температуры окружающего воздуха, атмосферного давления и потерь давления на входе и выходе из ГТУ. Показатели ПТ зависят от расхода, давления и температуры пара высокого и низкого давления, давления в конденсаторе. Данные зависимости устанавливаются производителями ГТУ и ПТ эмпирическим путем и предоставляются в графическом виде. На основании этих графиков производится расчет поправок для корректировки номинальных значений (определенных при условиях ISO 2314) с целью учета влияния перечисленных выше показателей на мощность и КПД станции.

При разработке математических моделей ГТУ и ПТ выполнено следующее:

1. Анализ графиков зависимостей основных энергетических параметров оборудования от исходных данных.
2. Оцифровка указанных графиков: получение массивов точек с помощью сторонних открытых программ, кусочно-линейная интерполяция полученных значений.
3. Разработка программы для расчета энергетических характеристик оборудования на основании номинальных параметров при нормальных условиях (ISO 2314) с учетом поправочных коэффициентов, полученных ранее.

### **Литература**

1. **Цанев С. В., Буров В. Д. и др.** Расчет показателей тепловых схем и элементов ГТУ и ПГУ электростанций, Изд-во МЭИ, 2000.
2. **Рыжкин В. Я.** Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.



*Д. Ю. Темников, студ.;*  
*рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММА ИЗВЛЕЧЕНИЯ КВАДРАТНЫХ КОРНЕЙ В ЧИСЛОВЫХ И ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ**

Программа на языке python вычисляет квадратные корни в следующих алгебраических структурах:

- 1) кольцо  $Z_p, p \equiv 1 \pmod{8}$ ,
- 2) кольцо  $Z_p, p \equiv 3$  или  $5$  или  $7 \pmod{8}$ ,
- 3) кольцо  $Z_n, n = pq, p \neq q$ ,
- 4) кольцо  $Z_n, n = p^\beta, p$  — нечётное,
- 5) кольцо  $Z_n, n = 2^\beta$ , для квадратичных вычетов  $a, a \equiv 1 \pmod{8}, \beta \geq 3$ ,
- 6) поле  $F_n, n = 2^l$  или  $n = 3^{2k+1}$  и  $n \pmod{4} = 3$ , где  $p$  и  $q$  — простые числа.

**Алгоритм функции 5):**

ВХОД: степень модуля  $\beta, \beta \geq 3$ , квадратичный вычет  $a, a \equiv 1 \pmod{8}$ .

ВЫХОД:  $x_1, x_2, x_3, x_4$  — квадратные корни из  $a$  по модулю  $2^\beta$ .

1.Принять :  $x = 1, s = 2^2$ .

2.Для  $i = 3, \beta$ :

2.1.  $s = s * 2$ ,

2.2.если  $x^2 \pmod{s} \neq a \pmod{s}$ :

принять :  $x = \frac{s}{4} - x$ .

3.Вернуть :  $x, \frac{s}{2} - x, \frac{s}{2} + x, s - x$

Программа применена для вычисления числовых идентификаторов общих ключей при планировании коммуникаций в беспроводных сенсорных сетях, структура ключевой системы которых соответствует квадратичной трансверсальной комбинаторной блок схеме над простым полем или его расширением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-01-00294-а).

### **Литература**

1. **Гашков С. Б., Фролов А. Б., Попова Е. П.** Об оценках сложности алгоритмов извлечения квадратных корней в конечных полях и в кольцах вычетов. Вестник МЭИ. 5. 2018. С. 79–88.
2. **Gashkov S. B., Gashkov I. B.** Быстрый алгоритм извлечения квадратных корней в некоторых конечных полях нечетной характеристики. Вестник Московского университета Серия 1 Математика. Механика. Т. 73.5. 2018. С. 8–14.

*М. В. Маслов, студ.; рук. И. В. Шевченко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ УМНОЖЕНИЯ ДЛИННЫХ ЧИСЕЛ НА ГРАФИЧЕСКОМ И УНИВЕРСАЛЬНОМ ПРОЦЕССОРАХ**

Решение ряда научных и прикладных задач связано с использованием умножения длинных чисел. Яркими примерами применения данной операции являются задачи компьютерной алгебры, криптографии, вычислительной математики, а также ряд задач оптимизации и ускорения вычислений. В связи с широким распространением описанных задач, вопрос о выборе наиболее подходящего инструмента для умножения длинных чисел становится актуальнее.

Существует достаточно широкий выбор программных средств, реализующих различные алгоритмы умножения чисел различной длины с использованием различных аппаратных платформ. К примеру, библиотека GMP [2] реализован выбор оптимального алгоритма умножения в зависимости от длин сомножителей, а в библиотеке CGBN используется механизм взаимодействия потоков внутри одного варпа при помощи взаимодействующих групп для умножения чисел достаточно большой длины.

В данной работе были исследованы популярные реализации умножения длинных чисел (библиотеки GMP, XMP, CGBN). Рассмотрены особенности реализации алгоритмов умножения как на универсальном, так и на графическом процессорах. Для различных аппаратных платформ проведена сравнительный анализ исследуемых средств, предложена собственная реализация умножения длинных чисел, основанная на модифицированном методе Карацубы. В качестве исследуемых технологий были использованы NVidia CUDA и C++ [1].

### **Литература**

1. **Боресков А. В.** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA — Издательство МГУ Москва. — 2015.
2. **Brent R., Zimmermann P.** Modern Computer Arithmetic. New-York: Cambridge University Press, 2011. 239 p.

А. О. Клягин, студ.;  
рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## СИНТЕЗ АЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЕКТИВНЫХ ГЕОМЕТРИЙ

Изучается алгоритм построения ациклических проективных геометрий — комбинаторных  $(v, k, \lambda)$  — блок-схем с параметрами

$$v = \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}, \quad k = \frac{q^n - 1}{q - 1}, \quad \lambda = \frac{q^{n-1} - 1}{q - 1},$$

где  $q = p^l$ ,  $p$  — это простое число,  $l \geq 1$ .

Блоки строятся как линии  $n-1$  мерного проективного пространства [1], которое рассматривается как множество нормированных многочленов над полем  $F_q$  степени  $n$  [2]. Алгебраическими идентификаторами блоков являются базисы — множества из  $n-1$  многочленов [2].

**Пример.** Базисы блоков с номерами  $0, \dots, t, \dots, q^2 + q$  ациклической проективной геометрии  $PG(2, q)$ :

$$(e^{(1)}(t), e^{(2)}(0)) = ((1), (0, 1)) \text{ — при } t=0;$$

$$(e^{(1)}(t), e^{(2)}(t)) = ((1), (0, x^{t-1}, 1)) \text{ — при } 1 \leq t \leq n,$$

$$(e^{(1)}(t), e^{(2)}(t)) = ((x^{t-1}, 1), (x^{i-1}, 0, 1)) \text{ при } n \leq t \leq n^2 + n, t = jn + i, j, i \in \{1, \dots, n\},$$

где  $x$  — это корень примитивного многочлена степени  $l$  над простым полем  $F_p$  или примитивный элемент этого поля (если  $l = 1$ ), принимается,  $x^0 = 0$ .

Блоки  $B(t)$  являются замыканиями базисов в двумерном проективном пространстве над полем  $F_q$ :

$$B(t) = \langle (e^{(1)}(t), e^{(2)}(t)) \rangle = \{e^{(1)}(t)\} \cup \{x^r e^{(1)}(t) \cup e^{(2)}(t), r = 0, \dots, q-1\}.$$

На языке python реализована программа синтеза блоков из  $GF(2, n)$  [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-000294а.

### Литература

1. Холл М. Комбинаторика. — М.: Мир. 1070.
2. Фролов А. Б., Клягин А. О., Кочетова Н. П., Темников Д. Ю. Распределенное вычисление комбинаторных блок-схем. Проблемы теоретической кибернетики. Материалы заочного семинара XIX международной конференции. Под редакцией Ю. И. Журавлева. — Казань: 2020. — С. 126–129 с.
3. Свид. 2020619591 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для вычисления блоков ациклической проективной плоскости и совокупностей номеров ее блоков, содержащих заданные один или два элемента / А. Б. Фролов, А. М. Винников, А. О. Клягин; заявитель и правообладатель (ФГБОУВО «НИУ «МЭИ») (RU). — № 2020618159; заявл. 30.07.20; опубл. 19.08.20, Реестр программ для ЭВМ. Бюл. № 8. — 1 с.

Н. П. Кочетова, студ.;  
рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИМИТИВНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЕКТИВНЫХ ГЕОМЕТРИЙ

Разработана приведенная ниже модификация известного [1] алгоритма тестирования неприводимости многочленов над простым полем для тестирования неприводимости и примитивности многочленов в  $F_{p^l}[Y]$ .

Пусть  $p$  и  $l$  характеристика и степень расширения поля  $F_{p^l}$ ,  $f(X)$  многочлен степени  $l$  над  $F_p$ ,  $f_{pr}(X)$  — примитивный многочлен  $f(X)$ ,  $\varphi(Y)$  — многочлен степени  $n$  над  $F_q$ ,  $q=p^l$ ,  $s_1, \dots, s_k$  и  $d_1, \dots, d_r$  ( $s'_1, \dots, s'_k$  и  $d'_1, \dots, d'_r$ ) — простые делители чисел  $l$  и  $p^l-1$  ( $n$  и  $q^n-1$ ),  $x$  и  $y$  — корни  $f(X)$  и  $\varphi(Y)$ ,  $A(F)=2$ , если многочлен  $F$  неприводимый и примитивный, 1 если он неприводимый и непримитивный, 0, если он приводимый.

Алгоритм 1	Алгоритм 2
ВХОД: $p, l, f(X), s_1, \dots, s_k, d_1, \dots, d_r$ . ВЫХОД: $A(f(X))$ . Если $l \neq 1$ : 1. $f_0 = X$ , 2. для $t = 1, \dots, l-1$ : $f_t = f_{t-1}^p$ для $i = 1, \dots, k$ : если $t = l/s_i$ и $f_t(X) = X$ или $\deg(f(X), f_t(X) - X) \neq 0$ , вернуть 0 3. $f_l = f_{l-1}^p$ Если $f_l \neq X$ , то вернуть 0. 4. Для $i = 1, \dots, r$ : если $x^{(p^l-1)/d_i} = 1$ , вернуть 1. Вернуть 2	ВХОД: $q, n, f_{pr}(X), \varphi(Y), s'_1, \dots, s'_k, d'_1, \dots, d'_r$ . ВЫХОД: $A(\varphi(Y))$ . 1. $\varphi_0 = Y$ , 2. для $t = 1, \dots, n-1$ : $\varphi_t = \varphi_{t-1}^q$ для $i = 1, \dots, k'$ : если $t = n/s'_i$ и $\varphi_t(Y) = Y$ или $\deg(\varphi(Y), \varphi_t(Y) - Y) \neq 0$ , вернуть 0, 3. $\varphi_n = \varphi_{n-1}^q$ Если $\varphi_n \neq X$ , вернуть 0. Для $i = 1, \dots, r'$ : если $y^{(q^n-1)/d'_i} = 1$ , вернуть 1. Вернуть 2

Итоговый алгоритм с использованием функции факторизации при вычислении  $s_1, \dots, s_k$  и  $d_1, \dots, d_r$  генерирует и тестирует  $f(X)$  по Алгоритму 1 затем тестирует  $\varphi(Y)$  по Алгоритму 2 с использованием  $f_{pr}(X)$ .

Алгоритм применен в авторских программах синтеза циклических проективных геометрий  $PG(2, p^l)$  и  $PG(3, p^l)$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-000294а.

### Литература

1. Р. Лидл, Г. Нидеррайтер. Конечные поля. В 2-х томах. Том 1. — М., 1988.

Н. П. Кочетова, студ.;  
рук. А. Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКОВ И ДУАЛЬНЫХ БЛОКОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЕКТИВНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ И ГЕОМЕТРИЙ

Изучается алгоритм построения разностных множеств Зингера [1] с параметрами

$$v = \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}, k = \frac{q^n - 1}{q - 1}, \lambda = \frac{q^{n-1} - 1}{q - 1}$$

где  $q = p^r$ ,  $p$  — это простое число,  $r \geq 1$ , и циклических проективных плоскостей и проективных геометрий на их основе.

Такие разностные множества порождают циклические  $(v, k, \lambda)$  — блок-схемы, являющиеся проективными геометриями  $PG(n, q)$ . Для их построения при  $r=1$  используется простое поле  $F_p$ , а при  $r > 1$  — его расширение  $F_p^r$  степени  $r$ , а также расширение  $F$  степени  $n+1$  этих полей.

Пусть  $x$  есть образующий элемент мультипликативной группы  $F^*$ . Тогда  $(v, k, \lambda)$  — разностное множество Зингера образуется вычетами по модулю  $v$ , равными дискретным логарифмам элементов (полиномов над  $F_q$ ) из  $F^*$  степени меньше, чем  $n$ . Их вычисление производится в поле  $F$  взятием элемента 1 и последующим умножением на  $x$  с проверкой в каждом цикле равенства нулю коэффициента при  $x^n$  — условия принадлежности номера цикла разностному множеству.

Блоки  $B_0, \dots, B_j, \dots, B_{v-1}$  циклической проективной плоскости или геометрии образуются прибавлением по модулю  $v$  номера  $j$  блока к элементам разностного множества Зингера. Дуальные блоки  $\bar{B}_j$  вычисляются прибавлением по модулю  $v$  номера  $j$  к противоположным элементам блока  $B_0$ .

Пересечение  $2, \dots, i, \dots, k$  блоков (или дуальных блоков) — это множество номеров блоков, содержащих  $k+2-i$  общих (или общих заданных) элементов. Эти пересечения применяются при маршрутизации коммуникаций в распределенной компьютерной сети.

Блоки  $B_j$ , дуальные блоки  $\bar{B}_j$  и их пересечения строятся по авторской программе на python.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-01-00294а.

### Литература

1. Холл М. Комбинаторика. — М.: Мир. 1070.

*П. С. Чухнина, студ.; рук. И. В. Шевченко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ДЕЛЕНИЯ ДЛИННЫХ ЧИСЕЛ НА ГРАФИЧЕСКОМ И УНИВЕРСАЛЬНОМ ПРОЦЕССОРАХ**

Одной из важных задач, которые возникают в таких областях, как вычислительная математика, компьютерная алгебра и криптография, является задача целочисленного деления длинных чисел. В связи с тем, что в последнее время перечисленные области математики становятся ведущими, данная задача не теряет своей актуальности.

Существуют два алгоритма, которые повсеместно используются для решения задачи деления длинных чисел. Первый — алгоритм деления столбиком — представляется собой классический подход к делению чисел любой длины. В общем случае данный способ деления представляет собой последовательное применение операций умножения, вычитания и сложения. Вычислительная сложность алгоритма деления столбиком составляет  $O(mn)$  [1], где  $m$  и  $n$  — длины делимого и делителя соответственно. Вторым часто используемым алгоритмом деления является алгоритм Бурникеля–Циглера. Ядром данного алгоритма являются алгоритмы  $D_{2n/1n}$  и  $D_{3n/2n}$ , которые делят числа длинами  $2n$ ,  $1n$ ,  $3n$ ,  $2n$ . Алгоритмы вызывают друг друга рекурсивно, с каждым шагом сокращая длину числителя на  $1/4$  и  $1/3$  соответственно. Алгоритм  $D_{3n/2n}$  осуществляет умножение, следовательно, работу данного алгоритма можно ускорить, используя методы быстрого умножения. В связи с этим, вычислительная сложность алгоритма будет различной при использовании разных алгоритмов.

В качестве средств реализации данных алгоритмов были выбраны язык программирования C++ и технология Nvidia CUDA [2] для универсального и графического процессоров соответственно. Так же было проведено сравнение и анализ быстродействия реализованных алгоритмов на различных аппаратных платформах.

### **Литература**

1. **Окулов С.М.** Алгоритмы компьютерной арифметики. М.: Бинум. Лаборатория знаний, 2015.
2. **Боресков А.В.** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. М.: МГУ, 2015.

*В. М. Егоров, студ.; рук. П. В. Зубков, к. ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБ ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ В ТРЕТЬЕЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ**

Рассматривается следующая задача, которая в теплофизических терминах может быть сформулирована следующим образом. Имеется однородная пластина  $0 \leq x \leq a$ ,  $0 \leq y \leq b$ , у которой с каждой стороны происходит теплообмен с внешней средой по закону Ньютона–Рихмана и, кроме того, в пластине имеются источники (или стоки) тепла. Требуется, управляя температурой внешней среды и плотностью источников тепла в пластине, сделать стационарное распределение температуры как можно ближе к заданному. Стационарное распределение температуры в пластине описывается третьей краевой задачей для уравнения Пуассона. Минимизация функционала осуществляется методом проекции градиента.

Была произведена программная реализация численного метода [1], [2] решения поставленной задачи, проведен анализ ее работы на различных примерах. На основе этого анализа были выбраны оптимальные составляющие метода решения:

- 1) метод решения системы сеточных уравнений,
- 2) критерий окончания.

Один из главных результатов — сравнение различных методов решения системы сеточных уравнений [3] с точки зрения скорости сходимости и получаемой погрешности. Выбор оптимального метода в указанных выше смыслах позволяет заметно увеличить быстродействие программы.

### **Литература**

1. **Васильев Ф. П.** Методы решения экстремальных задач. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. — 400 с.
2. **Казенкин К. О., Амосова А. О.** Численное решение задач математической физики. Стационарные уравнения (уравнение Пуассона). — М.: Издательство МЭИ, 2017. — 36 с.
3. **Вестфальский А. Е.** Введение в проекционные методы решения линейных систем: учебное пособие. — М.: МЭИ, 2019. — 48 с.

*Н. Е. Крымов, асп.; рук. А. А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЗАДАЧИ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается предложенная в [3] дискретная аппроксимация стационарной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена (1)–(2) в системе  $G = \cup G_{ij}$ , состоящей из  $n^2$  абсолютно черных стержней круглого сечения диаметром  $\varepsilon = 1/n$ , упакованных регулярным образом в квадратную коробку с границей  $\Gamma$ .

$$-\operatorname{div}(\nabla u) = 0, \quad x \in G, \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial n} + h(u) = \int_{\partial G} h(u(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi) + \int_{\Gamma} h(u_{\Gamma}(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi), \quad x \in \partial G \quad (2)$$

Здесь  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $h(u) = \sigma_0 |u|^3 u$  при  $u > 0$  — плотность потока теплового излучения;  $\sigma_0$  — постоянная Стефана–Больцмана;  $u_{\Gamma}$  — температура, заданная на  $\Gamma$ ;  $d\sigma(x)$  — естественная мера, заданная на  $\partial G \cup \Gamma$ ;  $\varphi$  — угловой коэффициент.

Для дискретной аппроксимации задачи (1)–(2), представляющей из себя специальную систему линейных алгебраических уравнений относительно  $h(U_{ij})$ , где  $U_{ij}$  — приближение к среднему значению температуры по сечению стержня  $G_{ij}$ , получена оценка погрешности порядка  $O(\sqrt{\varepsilon/\lambda})$ .

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSWF-2020-0022).

### Литература

1. **А. А. Амосов** «О разрешимости задачи теплообмена излучением по закону Стефана–Больцмана» Вест. МГУ. Сер. Вычисл. матем. киберн., No 3. 18–26 (1980).
2. **А. А. Амосов.** «Стационарная нелинейная нелокальная задача радиационно-кондуктивного теплообмена в системе непрозрачных тел со свойствами, зависящими от частоты излучения». Пробл. мат. анализ. 43, 3–34 (2009)
3. **A. A. Amosov, N. E. Krymov** “Discrete and asymptotic approximations for one stationary radiative–conductive heat transfer problem” Russ. J. Numer. Anal. Math. Modell., 35, No. 3, 127–141 (2020).



**Секция 13**  
**ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА**  
**Applied mathematics**

---

*Председатель секции:*

*д. т. н., профессор Еремеев Александр Павлович*

*Секретарь секции: к. т. н. Чернецов Андрей Михайлович*

*Д. И. Рыжов, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ**

В современном мире наблюдается повсеместное внедрение облачных сервисов благодаря их многочисленным преимуществам. Ввиду невозможности создания абсолютно защищенной системы, возникает проблема объективной оценки защищенности имеющихся облачных ресурсов при организации их безопасности. Проводить анализ вручную, применяя офисные инструменты, задача практически невыполнимая в связи с большими объемами обрабатываемой информации и высокой вероятностью ошибок. Кроме того, отсутствие четкой формализованности правил оценки рисков делает решение этой задачи затруднительным без привлечения экспертной комиссии.

В работе были определены основные категории угроз безопасности информации при использовании облачных сервисов, изучены методы анализа информационных рисков на основе нечеткой логики [1], аддитивной модели [2], байесовского и онтологического [3] подходов. Целью исследования стала разработка программного инструмента, позволяющего провести оценку информационной безопасности при использовании облачных сервисов выбранными методами.

Программная реализация приложения выполнена средствами языка C# в среде Visual Studio 2019 с использованием библиотеки Fuzzy Logic Controller [4]. Для каждого метода спроектирован интуитивно понятный пользовательский интерфейс. По результатам работы программы проведено сравнение всех реализованных методов, перечислены их преимущества и недостатки, даны рекомендации по их применению.

### **Литература**

1. **Сибкина И. В.** Анализ рисков информационной безопасности с использованием системы нечеткого вывода // Научный вестник НГТУ том 65, № 4, 2016, с. 121–134.
2. **Разумников С. В.** Моделирование оценки рисков при использовании облачных ИТ-сервисов. Фундаментальные исследования, 2014, № 5 (часть 1). с. 39–43.
3. **Петров С. А., Хорев П. Б.** Применение онтологии при оценке защищенности информационных систем // Вестник МГТУ «Станкин» 2015. № 3 (34).
4. Fuzzinator: A Fuzzy Logic Controller [Электронный ресурс], URL: <https://www.codeproject.com/Articles/33214/Fuzzinator-A-Fuzzy-Logic-Controller> (Дата обращения: 20.05.2020).

*А. Н. Апарнев, асп.;*  
*рук. Г. С. Плесневич, к.ф.-м.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГЛУБОКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫПОЛНИМОСТИ ФОРМУЛ ПРОПОЗИЦИОНАЛЬНОЙ ЛОГИКИ**

Проблема выполнимости в пропозициональной логике, обозначаемая SAT, важна для искусственного интеллекта и многих приложений теоретической информатики. В частности, получение логических следствий из баз знаний, записанных в пропозициональной логике, может быть выполнено с использованием SAT. Известно, что проблема SAT является центральной среди комбинаторных задач, решаемых с помощью экспоненциального перебора. Она NP-полна, и если ожидать, что  $P \neq NP$ , то нет надежды получить полиномиальный алгоритм для точного решения проблемы SAT. Известные алгоритмы для точного решения SAT имеют экспоненциальную вычислительную сложность. В то же время, базы знаний в реальных приложениях, требующих решения SAT, имеют большой размер, и поэтому точные алгоритмы для SAT не применимы на практике. Выходом является разработка приближенных алгоритмов решения SAT, которые распознают выполнимость не во всех, но в большинстве случаев.

В последнее время для приближенного решения SAT рассматриваются Искусственные Нейронные Сети (ИНС). Известным примером такой ИНС является NeuroSAT [1]. Недостатком этой сети является [2] то, что она классифицирует формулы на выполнимые и невыполнимые, не давая при этом сертификат решения — пример присвоенных значений истинности, при котором выполнимая формула принимает значение «Истина». Такой неявный путь решения не позволяет проверять (за полиномиальное время) корректность решения, данного ИНС, кроме того, сам такой пример присвоения может представлять ценность для пользователя.

Исходя из этого, на основе NeuroSAT была разработана новая рекуррентная графовая ИНС, которая в явном виде даёт такой пример и средствами нечёткой логики проверяет, делает ли этот пример формулу выполнимой. Точность классификации с помощью разработанной ИНС составила более 90% для примеров задач с 10 и 11 переменными.

### **Литература**

1. **D. Selsam, M. Lamm, et al.** Learning a SAT Solver from Single-bit supervision [Электронный ресурс] // arXiv:1802.03685. — Дата обновления: 12.03.2019. — 11 p. — URL: <https://arxiv.org/abs/1802.03685> (Дата обращения: 27.10.2020).
2. **S. Amizadeh, S. Matuskevych, M. Weimer.** Learning to solve circuit-SAT: An unsupervised differentiable approach // International Conference on Learning Representations (ICLR), 2019.

*Е. Ю. Кулешов, студ.; рук. О. Ю. Шамаева к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПАРОЛЯ НА ПЛАТФОРМЕ ЭЛЬБРУС**

В работе исследуется задача оценки надёжности пароля пользователя с использованием методик параллельного программирования. Критерием оценки выступает время, необходимое на подбор, с некоторым порогом, после которого пароль считается достаточно надёжным. Актуальность работы определяется важностью обеспечения достаточной сложности используемых парольных фраз и как следствие — защищённости пользовательской информации.

Выполнены проектирование интерфейса программного продукта, реализация алгоритма полного перебора [4] с использованием моделей параллельного программирования (WinAPI Threads и OpenMP) [3] и функции хеширования [1], тестирование приложения и анализ полученных результатов. Практическая часть работы представляет собой реализацию приложения на языке C++ с использованием фреймворка Qt для обеспечения кроссплатформенности [2]; среда разработки — Qt Creator 4.

По результатам тестирования выявлена зависимость между эффективностью вычислений и местоположением пароля внутри интервала поиска и зависимость времени поиска от длины парольной фразы. Также проведено сравнение процессоров семейства Эльбрус [5] с представителями других современных архитектур: x86 и ARM, в ходе которого оценена пригодность платформы для решения рассматриваемой задачи.

Разработанное и реализованное приложение может быть использовано как для исследований процессоров Эльбрус и других актуальных на данный момент платформ., так и в практических целях проверки безопасности пользовательских данных.

### **Литература**

1. **Rivest R.** RFC 1321, The MD5 Message-Digest Algorithm // Request for comments. — Internet Engineering Task Force, 1992. — 21 p.
2. **Бланшет Ж., Саммерфилд М.** Qt4. Программирование GUI на C++. — Издательство PrenticeHall, 2008. — 553 с.
3. **Шамаева О. Ю., Чернецов А. М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.
4. Быстрое восстановление пароля по MD5-хешу методом брутфорса [Электронный ресурс]. — <https://habr.com/post/110809/>
5. Краткое описание архитектуры Эльбрус [Электронный ресурс]. — [http://www.elbrus.ru/elbrus\\_arch](http://www.elbrus.ru/elbrus_arch)

*А. И. Гуляева, студ.; рук. П. Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТУРФИРМЫ**

Без информационных компьютерных систем (ИС), автоматизирующих различные бизнес-процессы, сейчас не может существовать ни одна компания.

В докладе рассмотрены принципы и процесс создания ИС [1,2] для турфирмы с целью автоматизации процессов подбора путевки и её бронирования. Исходя из этого, была спроектирована база данных [3], содержащая данные о турах и пользователях, разработаны серверная [4] и клиентская [5] часть ИС. Основным ПО для реализации выбран PHP Storm 2019.3.4 [6]. Для обеспечения безопасности на сайте было создано несколько уровней доступа к функционалу: администратор, авторизованный и неавторизованный пользователь.

Основной особенностью ИС является возможность подбора путевки в режиме онлайн при помощи консультирующей подсистемы. Пользователю предлагается пройти тестирование, опираясь на свои пожелания, и как результат получить рекомендации по выбору туристического направления и путевки.

В результате разработки была получена функционирующая ИС, которая помогла автоматизировать часть бизнес-процессов турфирмы и создала ей рекламу. Работа является основой для дальнейшего усовершенствования ИС путем добавления подсистем на основе искусственного интеллекта.

### **Литература**

1. Элементы ИС [Электронный ресурс], URL: <https://studfile.net/preview/1864849/page:2/> (дата обращения: 25.10.2020).
2. Разработка и внедрение информационных систем [Электронный ресурс], URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24067> (дата обращения: 25.10.2020).
3. К.Дж. Дейт Введение в системе базы данных, 7-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. — 1072 с.: ил.
4. Информация о языке SQL [Электронный ресурс], URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SQL> (дата обращения: 25.10.2020).
5. Браун, Этан Изучаем JavaScript: руководство по созданию современных веб-сайтов, 3-е изд. Пер. с англ. — СПб.: ООО «Альфа-книга», 2017. — 368 с.: ил.
6. PHPStorm 2019.3.4 [Электронный ресурс], URL: <https://www.jetbrains.com/ruru/phpstorm/documentation/> (дата обращения: 25.10.2020).

*А. И. Горячев, студ.; рук. О. Л. Моросин, к.т.н., (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА**

В последнее время большой интерес привлекают задачи анализа рукописного текста на предмет классификации авторов по почерку. Проблемой в данной задаче является выбор алгоритма выделения характерных признаков почерка.

В исследовании рассматриваются возможности применения нейросетевых методов для решения задачи классификации изображений рукописного текста. В ходе исследования произведены: анализ методов выделения характерных признаков из изображений; выбор структуры и обучение нейросетевой модели для выделения признаков из изображений рукописного текста.

В основе полученной модели лежат такие архитектуры как U-net [1] и Densenet [2]. Сама модель представляет собой конволюционную сеть, разделенную на две ветви. Одна перенимает архитектуру U-net, а вторая — Densenet. Впоследствии признаки, полученные с обеих ветвей, объединяются и передаются на полносвязные слои. Выходом с последнего полносвязного слоя является распределение вероятностей принадлежности входного изображения рукописного текста каждому из представленных системе авторов.

Мерой качества работы модели является точность определения автора по рукописным фрагментам. В зависимости от количества фрагментов, меняется точность идентификации. При анализе одного фрагмента, принадлежавшего одному из 100 авторов, точность идентификации топ-1 составляет 50%, топ-5 — 80%. Лучший результат был получен при анализе набора из 25 фрагментов. Точность определения: топ-1 — 95%, топ-5 — 99%.

Полученная в результате система может быть адаптирована для выделения характерных признаков рукописного текста в задаче кластеризации примеров рукописного текста неопределенного количества авторов: поиска примеров текста, принадлежащих одному автору.

### **Литература**

1. **Ronneberger, Olaf & Fischer, Philipp & Brox, Thomas.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // LNCS. — 2015. — P. 234–241. DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4\_28.
2. **G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten and K. Q. Weinberger.** Densely Connected Convolutional Networks // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2017. — p. 2261–2269. DOI: 10.1109/CVPR.2017.243.

*К. Д. Кирьянов, студ.; рук. О. Л. Моросин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА**

Обработка документов в ручном режиме занимает большое время и не позволяет осуществить быстрый поиск информации. Поэтому в настоящее время активно развиваются методы автоматического распознавания рукописного текста.

В работе исследовалось применение нейросетевых методов для решения задачи сегментации и распознавания рукописного текста. Для решения задачи сегментации была выбрана архитектура RetinaNet [1]. Для решения задачи распознавания локализованного текста использовались архитектуры CRNN [2] и Encoder-Decoder [3].

В качестве метрики качества сегментации текста на изображении использовалась Average Precision. Значение метрики AP для RetinaNet составило 0.71 для рукописного текста. Было продемонстрировано, что нейросетевой подход в задаче сегментации позволяет решить нетривиальную задачу: выделение рукописного текста на изображении при наличии шума и посторонних объектов. Для оценки качества распознавания рукописного текста использовалась ошибка на уровне символа (CER) и ошибка на уровне слов (WER). Архитектура CRNN показала WER 27.4% и CER 11.8%, а архитектура Encoder-Decoder — WER 26.5% и CER 12.6%. Полученные результаты можно объяснить тем, что модель Encoder-Decoder в процессе обучения способна строить языковую модель и осуществлять распознавание с учетом контекста, что позволяет получать более низкий процент ошибок на уровне слов.

В результате исследования было установлено, что нейросетевой подход в задаче распознавания рукописного текста позволяет получить высокое качество сегментации и распознавания.

### **Литература**

1. **Lin T., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P.** Focal Loss for Dense Object Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2018. — Vol. 42. — P. 318–327. DOI: 10.1109/TPAMI.2018.2858826.
2. **Graves A., Fernández S., Gomez F.** Connectionist temporal classification: Labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks // In Proceedings of the International Conference on Machine Learning. — 2006. — p. 369–379. DOI: 10.1145/1143844.1143891

*В. Ю. Бородина, студ.; рук. П. Б. Хорев к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Инцидент информационной безопасности (ИБ)* — это любое непредвиденное или незапланированное событие, которое может нарушить деятельность или информационную безопасность. *Событие информационной безопасности* — это есть идентифицированное появление определенного состояния системы, сети или какого-либо сервиса, которое указывает на возможное нарушение политики информационной безопасности, а также отказ мер защиты, или возникновение ранее неизвестной ситуации, может быть имеющая отношение к безопасности.

На данный момент существует большое количество разных инцидентов информационной безопасности, среди них можно выделить следующие наиболее распространенные: DDoS — атаки (распределенные атаки типа «отказ обслуживания»), взлом серверов и кража конфиденциальной информации, мошенничество в системах дистанционного банковского обслуживания (ДБО), утечка важных корпоративных или личных данных, с целью распространения и получения выгоды от этого, а также атаки на репутацию. Для выявления и анализа возникших инцидентов используются несколько методов: анализ инцидентов с применением методов анализа больших данных, анализ с помощью метода критических инцидентов, анализ на основе метода интеллектуального анализа и анализ, основанный на факторах событий ИБ. Аудит информационной безопасности — один из наиболее эффективных сегодня инструментов для получения независимой и объективной оценки текущего уровня защищенности предприятия от угроз информационной безопасности.

В результате был выполнен сравнительный анализ существующих методов выявления и обработки инцидентов, а также спроектирован алгоритм обработки инцидентов и базы данных признаков их возникновения, позволяющий выявлять события, которые могут нарушить защищенность информации в компьютерной системе.

### **Литература**

1. **Щербакова А. Ю.** Вероятностная оценка последствий инцидентов информационной безопасности — Пенза: Изд-во ПензГУ, 2013. — Т. 1. — С. 125–128.
2. Выявление инцидентов информационной безопасности [URL]: <https://lib.itsec.ru/articles2/control/vyyavlenie-incidentov-informacionnoy-bezopasnosti>
3. Обработка инцидентов информационной безопасности [URL]: <http://itsec.ru/articles2/control/obrabotka-incidentov-informacionnoi-bezopasnosti>



*С. А. Бабушкин, студ.;*  
*рук. И. С. Кружилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОМЕЩЕНИЯ**

Определение пространственной структуры помещения исходя из панорамного изображения может быть применимо для различных задач компьютерного зрения, оно может использоваться как в приложениях к виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальностям, так и робототехнике, например, для навигации внутри помещений, реконструкция или обработка структуры помещения.

Исследования проводились с точки зрения применения нейросетевых методов для решения задачи семантической сегментации панорамного изображения. Были проанализированы существующие методы сегментации структуры помещения; проанализированы методы выделения характерных признаков из изображений; выбор архитектуры нейронной сети и ее обучение на наборе данных RapoContext.

В качестве архитектур были рассмотрены U-Net [1] и SegNet [2]. Моделью является сверточная нейронная сеть, состоящая из одного кодера и двух декодеров, каждый из которых связан с другим при помощи skip-связей. В качестве входных данных модели поставляется исходное панорамное изображение и карта манхэттэнских линий, представляющих собой очертания горизонтальных и вертикальных линий на изображении. Выходом является карта вероятностей принадлежности пикселей к определенным структурам помещения, таких как стены, потолок, пол.

Метриками определения качества модели выступают: ошибка пересечения трехмерных пространств, полученной и истинной; угловая ошибка; попиксельная ошибка. Лучший результат был получен со значениями 3D-IoU равное 73.26%, угловая ошибка 1.07% и попиксельная ошибка 3.31%.

Был предложен алгоритм, который работает хорошо, как с кубическими структурами, так и с некубическими. Продемонстрировано, как влияет исходное изображение на конечный результат.

### **Литература**

1. **O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox.** U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. arXiv: 1505.04597 [cs]ArXiv: 1505.04597
2. **Vijay Badrinarayanan, Alex Kendall, Roberto Cipolla.** SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation, arXiv: 1511.00561 [cs]ArXiv: 1511.00561

*С. А. Поляков асп.;*  
*рук. П. Р. Варшавский, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ**

С каждым годом все сильнее возрастает потребность в разработке методов анализа больших данных для множества прикладных областей. Существуют методы, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Одним из таких методов является анализ данных на основе прецедентов (CBR — Case-Based Reasoning), позволяющий решить новую задачу, с помощью решения уже известной задачи, т. е. используя уже накопленный опыт [1].

Методы анализа данных на основе прецедентов базируются на использовании классического CBR-цикла, включающего в себя четыре основных этапа: **извлечение** из базы прецедентов (БП) наиболее подходящего прецедента для ситуации; **повторное использование** извлеченного прецедента для решения текущей проблемы; **пересмотр и адаптация** в случае необходимости решения текущей проблемы; **сохранение** вновь принятого решения как части нового прецедента.

Для решения задач анализа данных на основе прецедентов в соответствии с базовыми принципами построения прецедентных систем была разработана модульная CBR-система, реализующая основные этапы CBR-цикла. Реализованная система позволяет работать с прецедентами, представленными в параметрическом и структурированном (на основе онтологий) виде. CBR-система представляет собой веб-приложение, реализованное на языке программирования python 3.7.5 с использованием веб-фреймворка Flask и библиотеки owlready2 [2]. В веб-приложении реализованы модули, обеспечивающие все этапы CBR-цикла и извлечение прецедентов с использованием алгоритма k ближайших соседей (k-NN), а также модуль оптимизации БП и средства автоматического анализа и выбора метрики для алгоритма k-NN.

В дальнейшем планируется расширить возможности системы и повысить ее производительность за счет применения современных технологий распределенной обработки данных и облачных вычислений.

### **Литература**

1. **П. Р. Варшавский, Р. В. Алехин, Т. О. Блшонков, И. Е. Мухачева, С. А. Поляков** Разработка модульной прецедентной системы для решения задач классификации данных // КИИ-2019. Сборник научных трудов. В 2 т. — Ульяновск: УлГТУ, 2019. Т. 2., с. 136–144.
2. **Гринберг М.** Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python // пер. с англ. А. Н. Киселева. М.: ДМК Пресс, 2014.

*Т. В. Полозов, студ., рук А. П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Когнитивная графика сама по себе представляет собой совокупность методов образного представления условий поставленной задачи, которая помогает решить её или понять в какую сторону стоит идти в поиске решения. Одной из актуальных проблем на пересечении медицины и компьютерных технологий является проблема представления данных. Когнитивная графика принимает во внимание психологические особенности человека, что помогает облегчить процесс анализа данных. Всё это сказывается на разнообразии методов этой графики.

Что касается визуализации данных для медицины, то здесь также существует большое количество методов, помогающих решить ту или иную задачу. Поскольку возможность получать медицинские данные растёт ежедневно, то очень важно не перегружать пользователей (врачей, учёных) излишней информацией. Соответственно конечной целью создания пользовательского интерфейса в текущих рамках является создание адаптивного графического интерфейса, в который интегрируются клинические данные, помогающего в достижении цели пользователя с минимальными усилиями.

Работа была выполнена в рамках совместных исследований кафедры ПМИИ (ранее ПМ) НИУ «МЭИ» и отдела клинической физиологии зрения им. С. В. Кракова по созданию консультирующей экспертной системы по диагностике сложных патологий зрения. Методы в целом остаются теми же, что и раньше, но они совершенствуются под каждый отдельный случай. Программный модуль был написан на языке JavaScript и библиотеке React.

В результате, благодаря данному исследованию, визуализация данных с помощью когнитивной графики ускорит процесс постановки диагноза и выявления патологий.

### **Литература**

1. **Поспелов Д. А.** Когнитивная графика — окно в новый мир // Программные продукты и системы. — 1992. — № 2. — С. 4–6.
2. **Еремеев А. П., Хазиев Р. Р., Зуева М. В., Цапенко И. В.** Прототип диагностической системы поддержки принятия решений на основе интеграции байесовских сетей доверия и метода Демпстера–Шефера // Программные продукты и системы, 2013. — № 1. С. 11–16.

*В. С. Горшков студ.; рук. А. П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОДНОМ НАБОРЕ ДАННЫХ**

При диагностировании пациентов в медицине одним из стандартных обследований является снятие электрокардиограммы. Данное обследование назначается при подозрении отклонений в работе сердца, для дифференциальной диагностики заболевания. Таких пациентов достаточно, чтобы дать серьезную нагрузку врачам функциональной диагностики и понизить качество расшифровки результатов.

Специалист при расшифровке проверяет наличие в графических данных отклонений от нормы и по типу выявленных отклонений делает определённое заключение.

Нерасшифрованными результатами одного обследования являются несколько отрезков временных рядов, которые возможно классифицировать с точностью, не уступающей точности экспертной оценки, в автоматическом режиме с помощью интеллектуальных систем. Главная задача — выбор системы, подходящей к конкретным данным.

Существуют способы автоматического подбора метода машинного обучения для той или иной выборки данных. Однако, не теряет своей актуальности и ручной анализ, который позволяет понять закономерности в данных и, следовательно, провести более точный выбор методов и настройку параметров моделей машинного обучения.

Результатом данной работы стали анализ методов k-NN, CNN и SVM, описанных в статьях [1, 2, 3] соответственно, и сравнение результатов их применения к одному набору данных [4], к которому ранее такие методы не применялись.

### **Литература**

1. **Saini R., Bindal N., Bansal P.** (2015). Classification of heart diseases from ECG signals using wavelet transform and kNN classifier. International Conference on Computing, Communication & Automation. doi:10.1109/ccaa.2015.7148561
2. **Pandey S. K., Janghel R. R.** (2019). Automatic detection of arrhythmia from imbalanced ECG database using CNN model with SMOTE. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. doi:10.1007/s13246-019-00815-9
3. **Kampouraki A., Manis G., Nikou C.** (2009). Heartbeat Time Series Classification with Support Vector Machines. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 13 (4), 512–518. doi:10.1109/titb.2008.2003323
4. **Kalyakulina A., Yusipov I., Moskalenko V., Nikolskiy A., Kozlov A., Kosonogov K., Zolotykh N., Ivanchenko M.** (2020). Lobachevsky University Electrocardiography Database (version 1.0.0). PhysioNet.

*Ю. А. Кушнер, студ.; рук. И. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING**

С каждым годом количество данных увеличивается, и обрабатывать их вручную не предоставляется возможным. Несмотря на то, что в этой области на данный момент были предложены некоторые модели решения данной проблемы, эта тема все равно пользуется большой популярностью. В связи с этим актуальной является задача нахождения нужных пользователям текстов в больших массивах данных на основе собранной информации о пользователе. В работе рассмотрена задача классификации. Был произведен анализ моделей представления текстов, а также проанализированы различные методы Data Mining. Исследованы две модели представления текстов — булева, «мешок слов». Рассмотрены способы и особенности обработки текстов, представленных на русском языке.

Практическая часть работы заключается в создании программного комплекса классификации текстов для предоставления рекомендательных списков для пользователя и включает в себя сбор данных с сайта, реализацию преобразования полученных данных, создание и тестирование классификаторов и получение списка рекомендуемых пользователем текстов. Для работы был выбран сайт <https://bookmix.ru/>, так как содержит в себе обширную библиотеку книг и зарегистрированных пользователей.

Для обработки текстов на русском языке были использованы такие операции, как удаление стоп-слов, токенизация, приведение к нижнему регистру, фильтрация токенов по различным параметрам, а также алгоритм нормализации — лемматизация.

В ходе тестирования были рассмотрены четыре классификатора текста: Naive Bayes, SVM, Random Forest, kNN. Тестирование проходило на реальных пользовательских данных. Весь набор данных был разделен на тренировочное (75% от 330) и тестовое (25%) множества. Таким образом для рассматриваемого сайта, а именно для таких несбалансированных и небольших наборах данных было рекомендовано использовать метод Решающих Деревьев.

### **Литература**

1. **А. А. Барсегян. Анализ данных и процессов:** учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
2. **S. Neelamegam, Dr. E. Ramaraj Classification algorithm in Data mining:** An Overview. — Изд-во: International Journal of P2P Network Trends and Technology (IJPTT), 2013.

*В. Д. Мелихова, студ.;  
рук. И. С. Михайлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВОПРОСНО-ОТВЕТНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ TEXT MINING**

В настоящий момент поисковые системы общего назначения, например, Google или Yandex, обеспечивают выдачу результатов, не требующих дополнительного перехода по ссылкам, только по очень ограниченному кругу вопросов. В связи с этим актуальной является задача разработки тематической вопросно-ответной информационно-поисковой системы, поисковые документы которой будут представлены в виде пар: короткий вопрос — ответ. В таком случае будет проводиться поиск вопроса наиболее релевантного запросу, и в качестве результата пользователь получит ответ на этот вопрос.

В работе рассмотрены способы решения задачи сопоставления документов некоторому запросу. Проведен анализ моделей информационного поиска: булевой и векторной с различными способами расчета коэффициентов (TF, IDF, TF-IDF). Аналитически и практически проведено сравнение различных мер сходства двух текстовых документов (Евклидово расстояние, косинусная мера, мера Жаккара) [1]. Также проанализированы различные методы Text Mining. Рассмотрена специфика использования для текстов на русском языке таких операций, как токенизация, удаление стоп-слов, приведение к единому регистру, а также два алгоритма нормализации — лемматизация и стемминг. Исследованы различные модели представления текстов — булева, «мешок слов», n-граммы [2].

Практическая часть работы включает в себя создание и тестирование информационно-поисковой системы при различных конфигурациях (различные модели представления текстов, способы предобработки, меры сходства). В ходе автоматического и ручного тестирования было выявлено, что для системы, построенной на основе документов на русском языке, оптимальной конфигурацией является следующая: удаление стоп-слов, лемматизация данных и запроса, векторная модель информационного поиска с использованием весов TF-IDF, использование косинусной меры для сравнения образов запроса и документа. В таком случае система достигает своих максимальных показателей — 83% формальной релевантности ответов и 63% pertinентности.

### **Литература**

1. **Manning C. D., Raghavan P., Schütze H.** An Introduction to Information Retrieval. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
2. **Барсебян А. А., Куприянов М. С., Холод И. И., Тесс М. Д., Елизаров С. И.** Анализ данных и процессов. СПб.: БХВ-Петербург, 2009.

*М. В. Черновалова, асп.; рук. М. И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **НЕЧЕТКО-АППРОКСИМАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ**

Активизация инновационной деятельности определяет необходимость повышения результативности систем поддержки принятия решений по проектному управлению с использованием современных методов анализа информации. Выбор указанных методов должен осуществляться с учетом оценки влияния принимаемых решений на такие показатели реализации этапов проекта как сроки, затрачиваемые ресурсы различных видов и технико-экономические характеристики создаваемой инновационной продукции. В таких обстоятельствах представляется целесообразным применения прецедентных подходов [1], которые могут обеспечить на основе анализа имеющегося опыта управления инновациями выработку решений применительно к реализуемому проекту. Основная сложность использования данных подходов при проектном управлении обусловлена существенным различием между реализованными ранее проектами, как по масштабу, так и по набору основных характеристик. В результате возникают проблемы при нахождении прецедентов и адаптации решений, имевших место ранее, к текущей проектной ситуации. Следует также отметить высокую вероятность избыточности базы прецедентов, что снижает оперативность ее использования. С учетом данных обстоятельств предложен алгоритм, основанный на подходе к построению локально-аппроксимационных моделей [2] и предполагающий представление характеристик наблюдаемой ситуации и прецедентов в виде нечетких множеств, использование в качестве мер близости ситуаций нечетких расстояний между значениями характеристик и между их наборами, а также процедуру обучения базы прецедентов с целью формирования набора «опорных» ситуаций, позволяющих описать признаковое пространство потенциально-возможных решений. Применение предложенного алгоритма позволит обеспечить управление проектами в условиях различия характеристик анализируемых ситуаций.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

### **Литература**

1. **Варшавский П. Р., Еремеев А. П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–57.
2. **Dli M. I., Kruglov V. V.** Identification of dynamic objects by the method of local approximation // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2001. № 40 (4). pp. 564–568.

*Э. Р. Салахутдинов, студ.;*  
*рук. О. В. Бартедьев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КОЛОРИЗАЦИИ АНИМАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Важной задачей, возникающей при создании анимационных изображений, является колоризация чёрно-белых эскизов — преобразование исходного чёрно-белого изображения в цветное. Чаще всего дизайнеры анимационных изображений выполняют множество эскизов в короткие сроки, поэтому им приходится игнорировать стадию колоризации и выпускать чёрно-белые работы или выпускать меньшее количество цветных работ. На данный момент, помимо ручной колоризации дизайнерами (с применением графических редакторов), появляются методы, основанные на нейросетевом моделировании. Наиболее успешно для решения данной задачи используют различные модификации генеративно-состязательных нейронных сетей [1, 2].

Целью работы является создание генеративно-состязательной нейронной сети, выполняющей колоризацию анимационных изображений, и повышение ее эффективности, оцениваемой по точности колоризации.

В генеративно-состязательной нейронной сети обучаются генератор и дискриминатор. В созданной модели генератор состоит из свёрточных слоёв и слоёв с транспонированной свёрткой и включает два блока — encoder и decoder. Первый блок анализирует изображение и выявляет контуры, а второй декодирует изображение и выполняет его колоризацию.

В отличие от генератора дискриминатор, состоящий из 6 свёрточных слоёв, обучается классифицировать подаваемую на его вход пару изображений — черно-белое (эскиз) и цветное. Цветное изображение берется либо из обучающего набора данных, либо порождается генератором.

В генераторе обучаются 3'408'803 параметра, а в дискриминаторе — 241'393.

Созданная генеративно-состязательная нейросетевая модель выполняет колоризацию анимационных изображений со средней точностью 70%, вычисляемой по метрике pixel-wise accuracy.

### **Литература**

1. **R. Ye, W. Wang, J. Chen and K. W. Lin** Interactive Anime Sketch Colorization with Style Consistency via a Deep Residual Neural Network // International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI), Kaohsiung, Taiwan, 2019, pp. 1–5.
2. **G. Liu, X. Chen, Y. Hu** Anime Sketch Coloring with SwishGated Residual U-Net // Computational Intelligence and Intelligent Systems, 2019 p. 190–204.



*Д. Р. Ракипов, студ.; рук. д.т.н, проф. А. П. Еремеев (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

При анализе данных электрофизиологической диагностики возникает ряд проблем, которые могут привести к ее неправильной интерпретации, что в свою очередь приводит к ухудшению качества при постановке диагноза. Существующие на сегодняшний день методы интеллектуального анализа позволяют достичь неплохих показателей эффективности в задаче постановки диагноза (классификация электрофизиологических сигналов) [1–3]. Большинство из них являются представителями совокупности методов глубокого обучения [4].

В данной работе основное внимание сосредоточено на следующих архитектурах нейронных сетей: многослойный персептрон (MLP), свёрточная нейронная сеть (CNN), сеть эхо-состояний (ESN) и остаточная нейронная сеть (ResNet).

Выборка для тестирования архитектур формируется из проведенных ЭКГ исследований [5].

Результаты исследования показали, что наилучшую эффективность при классификации достигают: свёрточная нейронная сеть (CNN) и остаточная нейронная сеть (ResNet). В дальнейшей работе предполагается исследовать методы когнитивного моделирования для оптимизации гиперпараметров этих моделей.

### **Литература**

1. **Kan L., Jianqing L., Zhigang W., Alfred C.** Patient-Specific Deep Architectural Model for ECG Classification // Journal of Healthcare Engineering, 2017
2. **Acharya U.R., Oh S.L., Hagiwara Y., Tan J.H., Adam, San T.R.** A deep convolutional neural network model to classify heartbeats // Computers in Biology and Medicine, 2017
3. **Awni Y.H., Pranav R., Masoumeh H., Geoffrey H. T., Codie B., Mintu P. T., Andrew Y.N.** Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network // Nature Medicine, 2019, vol. 25, p. 65–69
4. **Oliver F., Yuki H., Tan Jen H., Oh Shu L., U Rajendra A.** Deep learning for healthcare applications based on physiological signals: A review // Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2018, vol. 161, p. 1–13
5. **Goldberger A., Amaral L., Glass L., Hausdorff J., Ivanov P.C., Mark R.** MIT-BIH Arrhythmia Database (version: 1.0.0). PhysioNet, 2005

А. А. Сесин, Д. Р. Ракипов, студенты;  
рук. П. Р. Варшавский, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОДЫ ОЦИФРОВКИ ГРАФИКОВ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТЭС

Возрастающие возможности информационных технологий (рост вычислительных мощностей, новые средства визуализации данных, новые средства моделирования), усложнение объектов энергетики, рост объёмов собираемых данных ставит вопрос о выборе цифровых решений для внедрения в энергетику с целью повышения эффективности, надежности, экологической безопасности.

Проблема, решаемая цифровым двойником ТЭС: отсутствие автоматического анализа данных, поступающих от автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), о работе оборудования для оценки качества режима работы ТЭС, фиксации и определения дефектов незаметных для эксплуатирующего персонала, прогнозирование отказов и аварий.

В данной работе были исследованы различные методы оцифровки графиков (в частности, алгоритм трассировки, предложенный Штегером [1]) различного рода зависимостей энергетических характеристик для их дальнейшего использования в расчётах, проводимых цифровым двойником ТЭС (рис. 1).

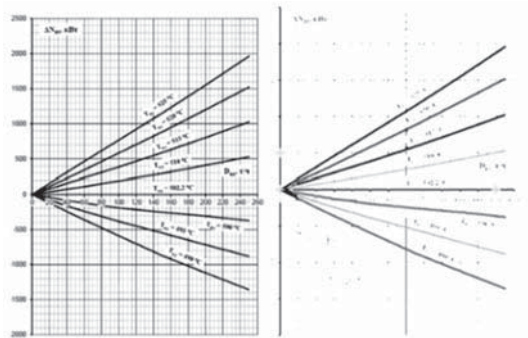


Рис. 1. Пример распознавания кривых

Кроме того, в среде программирования Microsoft Visual Studio на языке C# [2] выполнена разработка прикладного программного средства, реализующего комбинированные методы оцифровки графиков для достижения наилучших результатов.

### Литература

1. **Steger C.** Unbiased extraction of curvilinear structures from 2D and 3D images: Dissertation, Fakultät für Informatik, Technische Universität München. München: Herbert Utz Verlag, 1998.
2. **Маран М. М.** Программирование на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2005: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2007

*Н. С. Скрынников, студ.;  
рук. О. Л. Моросин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ**

В задачах обработки естественного языка естественным является представление текстов как последовательности токенов. Этого подхода было достаточно для решения многих задач обработки естественного языка, он остается базовым для решения широкого круга задач. В частности, такой подход используется в энкодерах типа Transformer, в частности, BERT и его модификациях. Тем не менее, в задаче обработки сложноструктурированных документов такой информации часто недостаточно, так как этот подход не позволяет работать с многоколоночными документами, таблицами, также не принимается во внимание расстояние между блоками текста. Также такой подход не поощряет принимать во внимание наличие на документе не-текстовой информации, например, вертикальных и горизонтальных разделителей.

Основной целью данной работы является исследование и разработка алгоритма извлечения информации из сложноструктурированных документов, который будет сохранять данные о позиционировании ключевых слов на документе, а также информацию о не-текстовых элементах документа.

За основу взята модель LAMBERT [1], в ней входной поток данных представлен последовательностью токенов  $t_i$  и последовательностью соответствующих им координат на документе  $(x_1, y_1, x_2, y_2)_i$ . Не-текстовые элементы представлены токенами специального вида: <LINE\_H> для горизонтальных линий и <LINE\_V> для вертикальных линий, координаты оставлены без изменений. Для поиска текста на документе используется движок Tesseract, для поиска линий используется преобразование Хафа [2].

Ожидается, что пополнение контекста информацией о не-текстовых элементах повысит качество извлечения информации из сложноструктурированных документов и снизит количество ложно-положительных срабатываний.

### **Литература**

1. **Lukasz Garncaiek et al.** LAMBERT: Layout-Aware (Language) Modeling using BERT for information extraction. — arXiv:2002.08087v3, 28April 2020
2. **D. H. Ballard.** Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // representations of words and phrases and their compositionality // Pattern recognition vol. 13, No 2, pp 111–122, 1981

*Зеар Аунг, Ёе Тху Аунг, асп.;*  
*рук. И. С. Михайлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ В ОБЛАСТИ НЕФТЕДОБЫЧИ**

Важным направлением применения методов интеллектуального анализа данных (ИАД) является анализ работы сложных технологических объектов и оценка различных физических процессов, которые в них происходят. В качестве примера такого типа задач рассматривается задача классификации режимов течения нефтегазового потока на нефтяных скважинах на основе значений параметров, контролируемых многофазным расходомером. В зависимости от типа наблюдаемого режима течения потока можно сформировать оценку качества функционирования нефтяной скважины, а также сформировать прогноз по дальнейшей её работе и предсказать возможную скорую аварийную остановку. Это позволит выполнить своевременные управляющие воздействия для устранения причин некорректной работы скважины, и, соответственно, повысить эффективность нефтедобычи. В связи с изложенным задача классификации режима нефтегазового потока является актуальной.

Одним из наиболее мощных методов решения задачи классификации в ИАД является метод опорных векторов (SVM). Однако его работа связана с высокой вычислительной сложностью. В связи с этим была разработана модификация данного метода (FS-SVM), опирающаяся на предположение о функциональной разделимости классов в рассматриваемой предметной области. Показано, что разработанный метод FS-SVM имеет меньшую вычислительную сложность. Вводится определение функциональной разделимости классов: классы являются функционально разделимыми, если существует функциональная зависимость между каждым выходным параметром и набором входных параметров, при этом данная функция является непрерывной и монотонной на множестве значений входных параметров. Данное свойство выполняется для рассматриваемой задачи. Вводится теорема о применимости метода FS-SVM к задачам, в которых выполняется указанное свойство. Приводится пример применения разработанного метода FS-SVM для решения задачи классификации режимов течения продукции нефтяных скважин Пермского края. Показана эффективность работы предложенного подхода.

### **Литература**

1. Михайлов И.С., Зеар Аунг, Ёе Тху Аунг. Разработка модификации метода опорных векторов для решения задачи классификации с ограничениями на предметную область // Программные продукты и системы, № 3 (110) 2020, 439–448 С. DOI:10.15827/0236-235X.131.2020-01-28.

*А. В. Сергеев, асп.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТЕГОАНАЛИЗ ДАННЫХ В ДОКУМЕНТАХ MS OFFICE**

С быстрым развитием информационных технологий появляется множество способов тайной передачи информации, которые могут не только применяться в целях защиты конфиденциальности, но и использоваться злоумышленниками. В связи с этим возникает задача обнаружения скрытых каналов передачи информации. Документы формата Microsoft Office являются самыми популярными для обмена данными в настоящее время, что позволяет применять их в качестве контейнеров при сокрытии информации.

Цель работы — подготовка и анализ данных, необходимых для разработки системы, способной выявлять документы, содержащие стегоконтейнер. Для этого следует исследовать алгоритмы внедрения стегоконтейнеров в документы структуры OOXML [1], существующие на данный момент программных решений, а также разработать возможные универсальные способы выявления наличия стегоконтейнеров в таких документах.

Был проведен анализ и собрана статистика тегов для наиболее эффективного способа внедрения стегоконтейнера в документы формата .docx/xlsx/pptx. В работе рассматривается структура OOXML, стойкость стегоконтейнера в зависимости от выбранной стратегии внедрения информации. На основе проведенного анализа структуры рассматриваются способы сокрытия информации к архивам типа Zip.

Также в работе были использованы статистические алгоритмы [2] и методы выявления стеганографических контейнеров для оценки частотного анализа, оценки энтропии и использования критерия Хи-квадрат. Была предложена стратегия выявления или присуждения документам статуса «подозрительных» на возможность наличия скрытых данных. Результаты работы могут быть использованы в качестве дополнительного критерия для системы мониторинга и расследования инцидентов информационной безопасности.

### **Литература**

1. Международный стандарт ISO 29500-1:2016 «Информационная технология. Языки описания и обработки документа. Офисные открытые файловые форматы XML. Часть 1. Основные положения и справочник по языку разметки».
2. **R. J. Oosterbaan**, Frequency and Regression analysis, Chapter 6. Drainage Principles and Applications, Publication, 16; ILRI: Wageningen, The Netherland, 2003

*А. В. Сергеев, асп.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СТЕГОКОНТЕЙНЕРОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТАХ**

Современная стеганография — это наука, которая скрытно внедряет в различные типы данных (стегоконтейнер) секретные сообщения, водяные знаки или даже полностью конфиденциальные файлы. Популярной становится методика применения стеганографии в хищении данных, в вредоносном программном обеспечении. Систем по обнаружению стегоконтейнеров существенно меньше чем по внедрению. Однако и такие системы в основном рассчитаны на обработку изображений.

В рамках работы было проведён анализ структур документов: PDF [1], DOCX, XLSX, PPTX [2]. Проведен анализ использования стеганографии и меры по детектированию стегоконтейнера. Были разработаны критерии для таких типов документов информирующие о вероятном присутствии стегоконтейнера.

На первом этапе определяется тип исходного документа. Далее декомпрессия с помощью библиотеки `zlib` потоков/объектов документа. На втором этапе проверяется целостность данных и наличие сторонних данных между объектов, наличие комментариев, данных в конце документа. На третьем этапе проверка на наличие программных сценариев поддерживаемые стандартом документа и присутствие вложенных объектов. На четверном и завершающем этапе проходит обработка потока с текстом документа, где присутствуют множество операторов/тегов по регулированию и отображения текста. Далее производится формирование обработанных данных в массивы на основании исходных потоков и анализируются по разработанным критериям.

Разрабатываемое программное обеспечение может быть применено при анализе инцидентов информационной безопасности, криминалистической экспертизе и как дополнительный инструмент по предотвращению утечек информации.

### **Литература**

1. **Sergeev A. V., Khorev P. B.**, Analysis of Methods for Hiding Information in PDF Documents and Opportunities for Their Progress, 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–4
2. Международный стандарт ISO 29500–1:2016 «Информационная технология. Языки описания и обработки документа. Офисные открытые файловые форматы XML. Часть 1. Основные положения и справочник по языку разметки».

*М. А. Маренков, студент; Н. А. Панявин, аспирант;  
рук. А. П. Еремеев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВЫХ СУБД ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ**

Большинство современных программных продуктов взаимодействуют в той или иной мере с данными различной сложности, которые могут быть структурированы и представлены в виде единой базы данных (БД). Помимо классического табличного представления данные также могут быть представлены в виде графов [1, 2]. При этом само представление данных в виде графа по смыслу может быть гораздо ближе к реальной жизни, нежели табличное.

Графовые системы управления базами данных (СУБД) представляют отдельную ветвь развития нереляционных БД [2]. Но также стоит отметить, что популярные реляционные модели, например, MS SQL Server, наряду с табличным представлением данных предоставляют возможности для обработки данных и в форме графов.

В работе рассматриваются представители нереляционных графовых СУБД — Neo4J, Tiger Graph, а также графовое и реляционное решение на базе MS SQL Server.

В среде Visual Studio на языке C++ с помощью дополнительных библиотек были реализованы и протестированы слабо и сильно связанные прототипы графов, созданные на основе данных из социальной сети ВКонтакте (Vk.com), размерами из  $10^3$ ,  $10^5$ ,  $10^7$ ,  $10^9$  записей.

В ходе испытаний было выявлено, что нереляционные СУБД обладают достаточно быстрой производительностью при обработке большого количества сильно связанных данных, а отсутствие строгой схемы данных позволяет разработчикам минимизировать изменения структуры запросов в случаях изменения структуры исходного графа [1].

С другой стороны, реляционное решение, оказалось более эффективным на слабо связанных графах небольшой размерности.

В наши дни NoSQL технологии развиваются достаточно быстрыми темпами и предоставляют разработчикам все больше возможностей. Но также стоит отметить, что реляционное направление СУБД, в свою очередь, не только не исчерпало себя, но и переходит в более новое мультимодельное направление СУБД, развитие которого вызывает интерес для дальнейших исследований, как в области статических, так и динамических, темпоральных данных.

### **Литература**

1. **Meier A., Kaufmann M.** SQL&NoSQL DataBases // Springer Vieweg, 2019, — 228p.
2. **Fowler M. et al.**, NoSQL Distilled // Addison-Wesley Professional, 2012, — 192 p.

М. Д. Сергеев, В. С. Петров, студенты; И. А. Полюшкин, аспирант;  
рук. А. П. Еремеев, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Гибкими (anytime)* называются алгоритмы, которые улучшают качество решения (вплоть до нахождения оптимального) с увеличением времени работы алгоритма [1]. Задачи, в которых существует некоторое множество состояний агента, детерминированные правила перехода между этими состояниями и требуется найти последовательность переходов из некоторого начального состояния в одно из целевых состояний, называются *задачами поиска в пространстве состояний* [2].

В работе рассматриваются возможности построения гибких эвристических алгоритмов поиска на основе известных алгоритмов поиска в пространстве состояний: метод перезапуска, метод продолжения и метод восстановления [3].

Были реализованы и протестированы на задачах «Игра в 8», «Пятнашки» и «Кольшовый солитер» различные гибкие версии алгоритмов  $A^*$ , RBFS и IDA\*. В результате испытаний установлено, что гибкие версии алгоритма  $A^*$  и IDA\* пригодны для практического применения, в частности, в ИСППР РВ, так как время поиска первого решения ими значительно меньше, чем время поиска оптимального решения алгоритмом  $A^*$ . Гибкая версия алгоритма RBFS менее подходит для практики, так как время поиска решения при ее использовании значительно выше, чем при использовании гибкой версии IDA\*.

В работе также предложен гибкий алгоритм построения деревьев решений на основе критерия ошибки  $k$ -ого уровня для решения задач классификации и регрессии [4]. В результате испытаний алгоритма была установлено, что предложенный гибкий алгоритм также применим в ИСППР РВ.

### Литература

1. **Еремеев А. П., Митрофанов Д. А.** Гибкий алгоритм моделирования иерархических рассуждений для систем реального времени // Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск 5 / Под. ред. В. М. Курейчика. — М.: Физматлит, 2011. — 262 с., с. 85–110.
2. **Рассел С., Норвиг П.** Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
3. **Thayer J., Ruml W.** Anytime Heuristic Search: Frameworks and Algorithms // Proceedings of the Third Annual Symposium on Combinatorial Search (SOCS-10). 2010. P. 121–128.
4. **Esmeir S., Markovitch S.** Lookahead-based algorithms for anytime induction of decision trees // ICM'04 — 2004. P. 257–264.



*В. В. Хижин студ.; рук. С. А. Ивлиев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СОХРАНЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ (PRIVACY-PRESERVING)**

Важным направлением современных исследований в области интеллектуального анализа данных (data mining) стала разработка методов, учитывающих проблемы конфиденциальности. Для нас важен следующий вопрос. Можем ли мы разработать модели без доступа к точной информации в отдельных записях данных?

Интеллектуальный анализ данных с сохранением конфиденциальности (privacy preserving) — направление исследований в области интеллектуального анализа данных, где алгоритмы анализируются на предмет побочных эффектов, которые они вызывают в конфиденциальности данных. Необходимость конфиденциальности иногда обусловлена законом (к примеру, для медицинских исследований), иногда интересами бизнеса.

Многие методы и техники интеллектуального анализа данных с сохранением конфиденциальности используют некоторую трансформацию данных, нужную как раз для сохранения конфиденциальности. Обычно такие методы уменьшают детализацию данных и приводят к снижению эффективности алгоритмов интеллектуального анализа данных. Это естественный компромисс между потерей информации и конфиденциальности. Примерами таких методов являются Randomization, k-anonymity model and l-diversity, Distributed privacy preservation. [2]

Результатом данной работы стали программная реализация и анализ таких методов как, логистическая регрессия (Logistic Regression) и дерево принятия решений (Decision Tree) с использованием сохранения конфиденциальности. Теоретические исследования данных методов могут быть найдены, например, в [1], [3]. В качестве моделей приватности были использованы k-anonymity и e-differential. В ходе анализа было установлено, что эти ML-методы с применением моделей конфиденциальности позволяют защитить данные, однако дают более низкие метрики качества, чем обычные методы.

### **Литература**

1. **Agrawal R., Srikant R.** Privacy-Preserving Data Mining. // Proceedings of the ACM SIGMOD Conference, 2000
2. **Aggarwal C. C., Yu P. S.** Privacy-Preserving Data Mining: Models and Algorithms // Springer, 2008.
3. **Chaudhuri K., Monteleoni C.** Privacy-preserving logistic regression // In Proceedings of the 22nd Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2008

*В. А. Попов, студ.; рук. И. С. Кружилов, доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ МЕТОДОВ МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

Многосрезовая компьютерная томография (КТ) широко используется в современной диагностике травм головы. Она эффективна для раскрытия кровотечений и переломов, кроме того дешёва и, как следствие, доступно для массового использования. В связи с этим, существует большая вероятность создать серьёзную нагрузку врачам функциональной диагностики и понизить качество расшифровки результатов

При расшифровке, специалист проверяет наличие отклонений от нормы в графических данных и по типу выявленных отклонений выводит заключение.

Нерасшифрованными результатами обследований являются снимки головного мозга возможно классифицировать с, не уступающей точности экспертной оценки, точностью в автоматическом режиме с помощью некоторой интеллектуальной системы.

В машинном обучении существуют разные методы классификации, позволяющие достигнуть высоких показателей эффективности в постановке диагноза. Каждый имеет свои преимущества и недостатки. Однако проблема выбора метода для конкретной задачи остаётся открытой до сих пор, кроме того не теряет своей актуальности и ручной анализ, который позволяет понять закономерности в данных и, следовательно, провести более точный выбор методов и настройку параметров моделей машинного обучения

Результатом данной работы стали анализ и выбор архитектур для решения задачи классификации, которые были применены на выборке, ранее не участвовавшей в тестировании.

### **Литература**

1. **Hemorrhage Slices Detection in Brain CT Images**, Chew Lim Tan, Tze-Yun Leong National University of Singapore, Cheng Kiang Lee Mount Elizabeth Medical Centre.
2. **D. M. Yousem et al**; The Requisites — Neuroradiology (2010)
3. **J. B. M. Kuks, J. W. Snoek**; Klinischeneurologie (2007)
4. **M. Schünke, E. Schulte, U. Schumacher**; Anatomische atlas Prometheus: Hoofd, hals en neuroanatomie (2007)

*Йе Тху Аунг, Зеар Аунг асп.;  
рук. И. С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕБИТА НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН**

Одним из направлений применения методов интеллектуального анализа данных (ИАД) является обработка математических моделей, характеризующих работу сложных технологических объектов и дальнейшая замена этих моделей применением методов ИАД. В качестве примера такого типа задач рассматривается задача обработки первичных данных многофазных расходомеров, устанавливаемых на выкидных трубопроводах нефтяных скважин, и вычисления расчётных данных о дебите нефтяных скважин с помощью методов ИАД [1]. В составе многофазного расходомера применяется сложная математическая модель, которая позволяет на основе набора первичных данных вычислять расчётные параметры скважин. Предполагается выполнить замену данной модели на применение метода ИАД с сохранением высокого уровня точности вычислений. Рассматриваемый метод ИАД должен обладать меньшей вычислительной сложностью, чем исходная математическая модель, что позволит использовать менее производительные аппаратные компоненты вычислителя расходомера, и, таким образом, снизить стоимость расходомера. В связи с изложенным представленная задача является актуальной.

Одним из наиболее мощных методов решения задачи прогнозирования в ИАД является применение искусственных нейронных сетей (ANN). ANN считаются инструментами нелинейного статистического моделирования данных, в которых моделируются сложные взаимосвязи между входными и выходными данными или обнаруживаются закономерности. В качестве исходных данных задачи рассматриваются значения контролируемых расходомером параметров, зафиксированные на нефтяных скважинах Пермского края. В работе предполагается создать различные архитектуры нейронных сетей и выполнить сравнительный анализ их работы на рассматриваемом наборе данных. В результате будет определена нейронная сеть, обеспечивающая максимальную точность предсказания расчётных параметров. Таким образом, будет обеспечено сокращение вычислительной сложности работы многофазного расходомера.

### **Литература**

1. Михайлов И.С, Зеар Аунг, Йе Тху Аунг. Разработка модификации метода опорных векторов для решения задачи классификации с ограничениями на предельную область // Программные продукты и системы, № 3 (110) 2020, 439–448 С. DOI:10.15827/0236-235X.131.2020-01-28.

*Д. В. Сорока, студ.; рук. О. Л. Моросин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ BERT-АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУССКОЙ РЕЧИ**

В настоящее время активно применяется новый класс нейросетей — «трансформер», который построен на механизме внимания (attention). Данный класс применяется для обработки последовательностей данных (обычно текстовых) и дает многообещающие результаты в автоматическом распознавании речи.

Архитектура encoder-decoder пытается передать все через вектор фиксированной длины. На некоторых задачах это работает, но обычно одного вектора мало — всю информацию не получается вместить. В архитектуре «трансформер» модель пытается научиться генерировать вектор контекста фиксированной длины во время генерации ответа. Такой механизм называется механизмом внимания, потому что он позволяет модели обращать внимание на разные части входной последовательности на каждом шаге [1].

BERT-архитектура одна из наиболее известных архитектур, использующих класс «трансформер». Модель с такой архитектурой построена только на encoder «трансформера», decoder не используется. На вход подаются токены текста, на выходе получаются «эмбединги». Использование BERT-архитектуры в качестве модели внешнего языка к seq2seq (от последовательности к последовательности) посредством дистилляции знаний позволяет использовать как левый, так и правый контексты [2].

В работе используется BERT-архитектура, которая генерирует программные метки для обучения seq2seq для автоматического распознавания речи. Также, используется контекст в качестве входных данных для BERT, помимо текущего высказывания.

Экспериментальные оценки показывают, что метод значительно улучшает производительность автоматического распознавания речи по сравнению с базовым обучением seq2seq на русскоязычном наборе русской речи.

### **Литература**

1. **Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser Ł., and Polosukhin I.** Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 5998–6008, 2017.
2. **Futami H., Inaguma H., Ueno S., Mimura M., Sakai S., Kawahara T.** Distilling the Knowledge of BERT for Sequence-to-Sequence ASR. *Proc. Interspeech 2020*, 3635–3639, DOI: 10.21437/Interspeech.2020-1179.

*А. Д. Зонов, асп.; рук. В. С. Ижуткин, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

При разработке программных комплексов одним из важнейших процессов является процесс тестирования программного обеспечения. Основными целями тестирования являются процесс нахождения ошибок и проверка соответствия между реальным и ожидаемым поведением программы [1].

Для этого обычно применяют методы модульного тестирования, то есть изолируют отдельные части программы с целью проверки их работоспособности [2]. На практике это означает создание тестов для всех нетривиальных функций и методов классов с целью выявления ошибок в нестабильных участках кода программы.

Соответствующий инструментарий существует для большинства популярных языков программирования.

Процессы модульного тестирования применяются при разработке программного комплекса цифровой обработки информации в радиолокационной станции на языке программирования C++. Инструментарием для модульного тестирования была выбрана библиотека «Google C++ Testing Framework» [3].

Такой подход позволяет проверить работу соответствующих модулей при воздействии тестовых датаграмм. Кроме этого, позволяет проверять математические вычисления на достоверность полученного результата. Результаты тестирования представимы в понятном для разработчика виде.

В работе рассматривается применение модульного тестирования при разработке одного из модулей программного комплекса радиолокационной станции — преобразование координатных точек между различными системами координат и картографическими проекциями. Рассматриваются основные конструкции и особенности используемой библиотеки, основные шаги, которые необходимо выполнить разработчику программного обеспечения для организации процесса тестирования, а также результаты тестирования разработанного модуля.

### **Литература**

1. **Ошероув Р.** Искусство автономного тестирования с примерами на C#. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. — М.: ДМК Пресс, 2014. — 360 с.: ил.
2. **Бек К.** Экстремальное программирование. Разработка через тестирование / пер. с англ. Анджан П. — М.: Питер, 2017. — 250 с.: ил.
3. **Уаттакер Д., Арбон Д., Кароло Д.** Как тестируют в Google / пер. с англ. Васюхина А., Нечаева Ю. — М.: Питер, 2014. — 450 с.: ил.

*Е. И. Лобанева, асп.; рук. М. И. Дли, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБ БИЕКТИВНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ИХ АНАЛИЗА СВЕРТОЧНЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90062 Аспиранты

Глубокие рекуррентные (РНС) и сверточные (СНС) нейронные сети сейчас являются ключевыми технологиями машинного обучения. Первые ориентированы на анализ временных рядов, вторые — на распознавание изображений. РНС и СНС используют различные алгоритмы обработки данных и поэтому формируют различные их представления. Актуальной задачей является разработка способов и методов биективного (взаимно однозначного) отображения данных, представленных в форме временных рядов, в изображения и наоборот, что позволит совместно применять РНС и СНС для одних и тех же данных с целью их более глубокого анализа.

Новизна проведенных исследований состоит в предложенном способе формирования изображений (сигнатур) данных, первоначально представленных в виде временных рядов, для их дальнейшего анализа с помощью СНС. Способ заключается в выполнении двух этапов. На первом этапе анализируются частотные характеристики временного ряда для выявления максимального интервала дискретизации  $T$ , при котором не происходит потеря информации. На втором этапе формируется матрица, элементы строк которой содержат значения временного ряда, взятые через интервал  $T$ , а количество элементов строк и число строк задается как гиперпараметр СНС. Изображение «теплого портрета» построенной матрицы поступает на вход СНС с целью дальнейшей классификации состояния процесса, характеризуемого временным рядом.

Личный вклад автора заключается в детализации алгоритма проведения двух этапов построения сигнатур временного ряда, а также в разработанном программном обеспечении на языке Python 3.8, которое может применяться на этапе предобработки данных при проектировании СНС.

В перспективе полученные результаты могут быть расширены на многомерные временные ряды и найти применение в системах интеллектуального мониторинга в различных прикладных областях.

### **Литература**

1. Пучков А. Ю., Дли М. И., Лобанева Е. И. Применение глубоких нейронных сетей в моделях сложных технологических объектов // Известия СПбГТИ, 2020, 52 (78), с. 104–110.

*В. А. Карпеева, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АНАЛИЗА ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

С увеличением широты применения и практической пользы от различных средств информационных технологий возрастает не только их сложность, но и проблематичность обеспечения конфиденциальности, доступности и целостности информации — защита информации. Типовые политики или защитные меры информационной безопасности (ИБ) не могут полностью гарантировать защиту информации, информационных систем, сервисов или сетей [1]. После внедрения первичных защитных мер остаются слабые места, которые могут сделать обеспечение ИБ неэффективным. Кроме того, будут неизбежно выявляться новые, ранее не идентифицированные угрозы. Таким образом, для любой организации важно применять структурный и плановый подход к управлению информационной безопасностью.

Информационным угрозам подвергаются в большей степени государственные информационные системы, автоматизированные системы управлений техническими процессами промышленных предприятий, банковские системы, базы операторов персональных данных. Решение задачи выявления инцидентов ИБ требует анализа событий, посредством мониторинга лог-файлов различных средств защиты информации, компонентов инфраструктуры, прикладных систем, элементов технологических систем и прочих информационных ресурсов. Для эффективного и быстрого выявления инцидентов ИБ необходимы специализированные программные решения.

В рамках работы были изучены подходы к определению и классификации инцидентов ИБ, рассмотрен порядок управления инцидентами ИБ, осуществлён обзор существующих методов и средств анализа инцидентов ИБ, рассмотрены их основные особенности и проведён краткий сравнительный анализ. Особое внимание было уделено методу оценки инцидентов безопасности на основе факторов событий, общие идеи которого изложены в [2]. В дальнейшем планируется разработка программного средства, основанного на данном методе.

### **Литература**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18044:2007. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности. — М.: Стандартинформ, 2009. — 50 с.
2. **Зефирова Сергей Львович, Щербакова Анастасия Юрьевна** Оценка инцидентов информационной безопасности // Доклады ТУСУР. 2014. № 2 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-intsidentov-informatsionnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 22.11.2020).

*А. П. Жеглов, студ.; А. А. Ефанов, асп.;  
рук. В. Н. Фальк, д.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОИСК ЛИДЕРОВ МНЕНИЙ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Для повышения эффективности образования, к работе часто привлекают лидеров мнений [1], которых можно обнаружить с помощью подходов social network analysis [2].

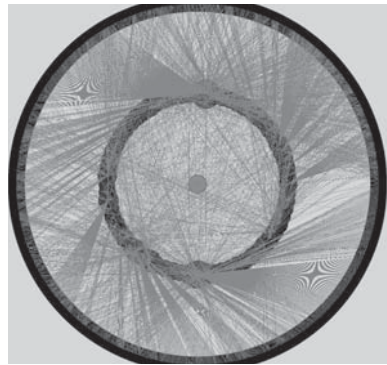
В условиях пандемии, когда всё переходит на дистанционный формат, необходимость в лидерах мнений в сети интернет заметно вырастает.

С помощью социальной сети «ВКонтакте», средствами vk api [3], можно собрать информацию, выложенную в открытый доступ.

Были получены данные по 43465 профилям, указавших ВУЗ НИУ «МЭИ», в качестве места обучения, среди которых 6692 оказались закрытыми.

Построен когнитивный граф, вершинами которого являются пользователи, а связь между ними строится в том случае, если хотя бы один из пользователей указал другого своим другом в социальной сети. На рис. 1 изображена визуализация графа связей преподавателя, обучавшегося в НИУ МЭИ и работающего там в момент написания статьи.

Найдены самые популярные страницы обучающихся в МЭИ студентов на 21.11.2020 [4]. Владельцев этих страниц выгодно привлекать к помощи в формировании актуальной повестки ВУЗа и распространении информации.



**Рис. 1.** Визуализация связей

### **Литература**

1. **Waters J.** Thought-Leaders in Asynchronous Online Learning Environments // Journal of Asynchronous Learning Networks. — 2012. — Т. 16. — №. 1. — С. 19–34.
2. **Wasserman S. et al.** Social network analysis: Methods and applications. — Cambridge university press, 1994. — Т. 8.
3. Документация vk api [Электронный ресурс]. URL: <https://vk.com/dev/manuals> (дата обращения 21.11.2020)
4. Таблица профилей [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/Zh-al/MPEI-connections/blob/main/MPEI%20popularity%2021.11.2020.csv> (дата обращения 21.11.2020)



*А. И. Лазарев, студ. (Филиал «МЭИ» в г. Смоленске);  
рук. Е. И. Лобанева, м. н. с. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ПОСТ-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МОДУЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90062 Аспиранты

Основной целью метода тестирования на проникновение является поиск и устранение критических уязвимостей на аппаратном и программном уровнях. Рассматриваемый метод состоит из нескольких этапов — процесса поиска совместимой уязвимости, эксплуатации и обеспечения дальнейшего контроля целевой машины. На этапе пост-эксплуатации осуществляется запуск модулей, позволяющих контролировать и идентифицировать устройства, службы и процессы в атакуемой системе [1]. С учётом большой вариативности пост-модулей, алгоритм интеллектуального выбора необходимого модуля в условиях тестирования специфического оборудования позволяет автоматизировать процесс дальнейшей эксплуатации оборудования.

В основе алгоритма используется рекуррентная нейронная сеть, специализирующаяся на обработке последовательностей. Основными последовательностями являются параметры системы, полученные в ходе успешного выполнения уязвимости — аппаратная архитектура, операционная система, запущенные службы и разрядность системы. Рассматриваемые параметры в результате преобразования в специфические массивы являются векторами  $x_1, x_2 \dots x_n$ , представляемыми входными данными нейронной сети. Процесс проверки совместимости рассматриваемого варианта осуществляется на основе логистической функции softmax, позволяющей представить каждую последовательность в виде вероятности. Аналитическая проверка совместимости осуществляется посредством применения входной информации рассматриваемого модуля в базе данных Rapid7 в качестве исходного варианта для сравнения с вектором выхода нейронной сети.

В результате был разработан программный модуль на языке программирования Python, позволяющий определять наиболее совместимые модули пост-эксплуатации в соответствии с тестируемой системой.

### **Литература**

1. Пleshков А. С., Рудер Д. Д. Тестирование на проникновение как анализ защищенности компьютерных систем // Известия АлтГУ. 2015. № 1/1 (85). С. 174–181.

**Секция 14**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР**  
**Computer engineering and CAD systems**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Топорков Виктор Васильевич*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Лешихина Ирина Евгеньевна*

*Д. А. Круглова, студ.; рук. М. А. Пирогова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСНОЙ ЧАСТИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

Применение технологии Дополненной Реальности (Augmented Reality (AR)) в настоящее время — неотъемлемая часть цифровой трансформации современной промышленности. В области энергетического машиностроения и теплоэнергетики применение AR наиболее ожидаемо при решении задач обучения персонала, при проведении сервисных работ и мониторинга оборудования. Авторами был разработан AR-интерфейс для передовых теплоэнергетических проектов, выполняемых в МЭИ. В качестве объекта была выбрана обобщенная габаритная 3D-модель УСКП турбины, был согласован состав AR-компонент интерфейса, разработан сценарий AR-приложения.

С помощью разработанного авторами AR-приложения было реализовано AR-сопровождение пояснений по составу турбины, уточнение и визуализация новшеств, выполненных в МЭИ, управляемое пользователем динамическое построение разнесенного вида.

В качестве платформы разработки AR-приложения использованы Vuforia Engine Personal 8.5 (AR-объекты) и Unity 2019 Beginners trial (разработка сценария интерфейса). Для создания перехода к отдельным деталям сборки было решено воспользоваться функцией Raycast, для таргетинга применялся метод Image Target, для построения динамических сцен — функционал Animation системы Unity 3D.

Разработанное решение было выполнено для практической непосредственной загрузки на устройства Android в виде файла .apk, а при наличии лицензии разработчика это же приложение без изменения исходного кода может быть перетранслировано для смартфонов iPhone, планшетов iPad и очков смешанной реальности Microsoft HoloLens. Методы построения AR-интерфейса могут быть в дальнейшем применены для новых проектов теплоэнергетики и энергетического машиностроения. С примером применения разработанного AR-интерфейса можно ознакомиться по ссылке — <https://www.youtube.com/watch?v=eMcER03E9JQ>

### **Литература**

1. Дополненная реальность: возможности применения для поддержки полного жизненного цикла изделия / В. А. Краюшкин, М. А. Пирогова, И. Е. Лешихина // НТ Журнал «Информационные технологии в проектировании и производстве». — 2017. — № 1 (165) — С. 16–25.

*И. С. Завалин, студ.; рук. И. Е. Лешихина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ НАПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ДЕМОСТРАЦИИ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ НИУ «МЭИ»**

При подготовке выставки Научных Достижений НИУ МЭИ была поставлена задача применения технологии Дополненной Реальности (Augmented Reality, AR) для более эффективной демонстрации 3D разработок МЭИ в энергетическом машиностроении и энергетике. При решении поставленной задачи было обоснована и доказана возможность реализации подобных AR-проектов в МЭИ с использованием составной платформы разработки AR-приложений, где для управления AR-объектами было предложено использовать Vuforia Engine Personal 8.5 (AR-объекты), а для разработки сценария AR-приложения — Unity 2019 Beginners trial. Явные преимущества предложенной составной платформы перед другими системами по работе в технологиях AR состояли в том, что как Vuforia Engine Personal 8.5, так и Unity 2019 Beginners trial являются условно бесплатными и доступными при регистрации под студенческими аккаунтами.

Результатом работы является AR-приложение для демонстрации передовых разработок МЭИ в области теплоэнергетики и энергомашиностроения. Для таргетинга применялся метод Image Target, для построения динамических сцен — функционал Animation системы Unity 3D, однако требования по сценарию применения AR-функционала не могли быть полностью реализованы в Animation системы Unity 3D. В связи с этим выявленным ограничением условно-бесплатной версии Unity визуализация сложных поворотов 3D-моделей в технологии AR выполнялась с применением триггеров PointerUp, PointerDown. Для выполнения масштабирования 3D-объекта было принято решение использовать Slider.

Разработанное AR-приложение было выполнено для практической непосредственной загрузки на устройства Android в виде файла .apk. Методы построения AR-интерфейса могут быть в дальнейшем применены для новых проектов теплоэнергетики и энергетического машиностроения.

### **Литература**

1. Компьютерное зрение [Электронный ресурс] / Материал из Википедии — свободной энциклопедии. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>, свободный. (Дата обращения: 01.05.2020 г.).

А. А. Ключанский, студ.; рук. В. А. Курдин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА ОПТРОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ ПУЛЬТА КОСМОНАВТОВ «НЕПТУН-МЭ»



Рис. 1. Блок оптронного согласования

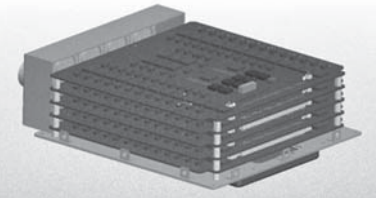


Рис. 2. Полученная сборка БОС

Предприятие АО «НИИАО» разработало и выпускает пульт «Нептун МЭ». Данное устройство, состоящее из нескольких модулей, позволяет управлять работой бортовой системы на корабле «Союз-М» и контролировать показания всех датчиков, но имеет ряд ограничений. Модернизация блока оптронного согласования (Рис. 1), входящего в пульт космонавтов «Нептун-МЭ» обусловлена необходимостью замены элементной базы на более современную и маломощную.

Блок (Рис. 1) состоит из платы дешифратора, пяти плат оптронного согласования и других сборочных единиц и деталей. Предъявляемые требования к сборке: заменить часть проводного объемного монтажа печатным, в результате чего получается этажерочная конструкция (Рис. 2). Это позволяет упростить сборку изделия и в даль-

нейшем облегчить процессы тестирования плат в отдельности и блока в целом. Отработка конструкции производилась в САПР Pro/Engineer [1].

Разработка новых электрических схем и проектирование печатных плат производилось в САПР PCAD и Altium Designer [2]. Замена оптопары в платах позволила отказаться от схемы согласования, предназначенной для защиты от помех на информационной шине от соседних информационных каналов. В результате этого ток потребления был уменьшен почти в 2 раза.

Изложенные выше проектировочные решения привели также к снижению стоимости и массы изделия.

### Литература

1. **Минеев М. А.** Pro/Engineer Wildfire 2.0/3.0/4.0. Самоучитель. Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2008.
2. **Сабунин А. Е.** Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. М.: САЛОН-ЭКСПРЕСС, 2009.

**Секция 15**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ,**  
**СЕТИ И СИСТЕМЫ**  
**Computing machines, networks, and systems**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Абросимов Леонид Иванович*

*Секретарь секции: Орлова Маргарита Андреевна*

*К. Д. Новиков, студ.; рук. М. В. Раскатова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ПРОВАЙДЕРСКОГО УРОВНЯ И СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ ТРУДОЗАТРАТ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

В настоящее время существует огромное множество компаний, предоставляющих услуги доступа в интернет, каждая из которых обладает своей собственной сетью, которая, зачастую, имеет различные особенности эксплуатации. Однако, из-за широкого спектра возможных особенностей каждой существующей сети возникает множество проблем, связанных с их удобной и эффективной эксплуатацией. Большое разнообразие коммутаторов различных фирм и моделей на сети, является одной из самых крупных проблем, присутствующих практически у каждого поставщика услуг доступа во всемирную паутину. [1]

В настоящее время разрабатывается множество приложений и GUI для предоставления быстрой и удобной возможности эксплуатации и контроля коммутационного оборудования. Проблема состоит в том, что обычно, по-настоящему удобные и удовлетворяющие всем требованиям приложения, создаются непосредственно производителями коммутаторов и подходят, исключительно, для их оборудования. [2]

В данном докладе подробно рассмотрена проблема эксплуатации многообразного оборудования, а также более мелкие проблемы, тесно связанные с сетями провайдерского уровня. Помимо этого, предлагается вариант решения установленных проблем, а также способы улучшения эффективности работы инженеров эксплуатации сетей. Более подробно полученные результаты представлены в докладе.

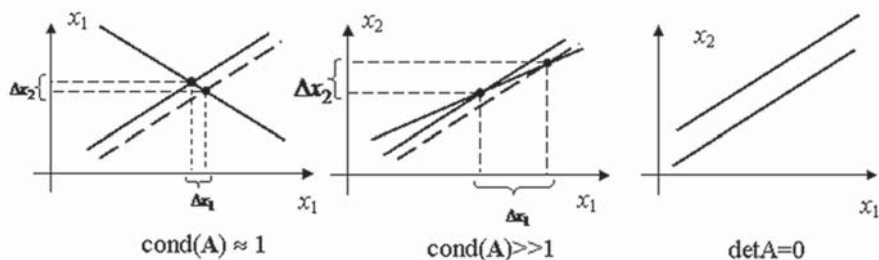
### **Литература**

1. **Oliver V. G., Oliver N. A.** Computer networks. Principles, technologies, protocols. 5th ed. St. Petersburg: Peter, 2016.
2. **Srilatha Vemula, Jason Gooley, Roddie Hasan** Cisco Software-Defined Access. — 1st ed. Cisco Press, 2020.

*Д. В. Голов, асп.; рук. Ш. А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ГИЛЬБЕРТА В ХЕШ-ФУНКЦИЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КРИПТОСТОЙКОСТИ

В области численного анализа число обусловленности функции по отношению к аргументу измеряет, насколько может измениться выходное значение функции при небольшом изменении входного аргумента. Причина появления больших погрешностей при решении плохо обусловленных систем хорошо иллюстрируется на примере СЛАУ с двумя неизвестными. Графическое изображение СЛАУ с различными числами обусловленности представлено на рис. 1



**Рис. 1.** Графическое изображение СЛАУ с различными числами обусловленности

Типичным представителем семейства плохо обусловленных матриц является матрица Гильберта. Особенностью этого типа матриц является то, что операция получения обратной матрицы крайне чувствительна к изменениям аргументов. Это свойство матрицы Гильберта может быть использовано для повышения криптостойкости хеш-функций, что является одним из основных требований к хеш-функциям: малое изменение входных данных должно приводить к значительному изменению выходных.

Одной из проблем некоторых хеш-функций является то, что для последовательно идущих входных данных хеш-функция генерирует последовательно идущие хеши, что значительно понижает криптостойкость хеш-функции. Для повышения криптостойкости входные данные могут служить «возмущением» в матрице Гильберта, затем операция инвертирования матрицы Гильберта позволит получить значительно измененные входные данные для стандартной хеш-функции. Таким образом последовательно идущие входные данные будут явно изменены.

### Литература

1. **Фадеев Д. К.** Вычислительные методы линейной алгебры: Электронно-библиотечная система издательства Лань, 2009
2. **Ростовцев А. Г., Маховенко Е. Б.** Теоретическая криптография, 2004



*Э. А. Челышев, Д. В. Шибитов, студенты;  
рук. Ш. А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОТБОРА ПОСТАВЩИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ**

В настоящее время наблюдается активная информатизация многих отраслей экономики [1]. Особенно популярными становятся различные цифровые платформы. Цифровая платформа — это единая информационная среда для прямого и прозрачного взаимодействия участников бизнес-процесса, компании или целой отрасли [2].

Целью данной работы является реализация автоматизированной системы отбора поставщиков энергетического оборудования с использованием машинного обучения в рамках, разрабатываемой коллективом авторов цифровой платформы.

В ходе исследования разработана система оценивания поставщиков энергетического оборудования по различным критериям, проведено формирование обучающей и тестовой выборок для реализуемого программного продукта. Для построения данной системы использованы язык программирования Python, а также библиотеки машинного обучения: NumPy, Pandas, Matplotlib и другие [3]. Проведена оценка различных методов машинного обучения по ряду метрик применительно к решаемой задаче.

В данном докладе рассматривается автоматизированная система отбора поставщиков энергетического оборудования с использованием машинного обучения, построенная на основе метода, продемонстрировавшего наилучшие показатели в ходе исследования.

### **Литература**

1. Индикаторы цифровой экономики: 2020: статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: НИУ ВШЭ, 2020.
2. Цифровая платформа в строительной отрасли: возможности и перспективы: [Электронный ресурс] // IBS. 2019. URL: <https://ibs.ru/media/media/tsifrovaya-platforma-v-stroitelnoy-otrasli-vozmozhnosti-i-perspektivy/>. (Дата обращения 26.10.2020).
3. **Мюллер А.** Введение в машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо; пер. с англ. — М.: Альфа-книга, 2018. — 480 с. — ISBN: 978-1-449-36941-5.

*А. А. Мишин, студент;  
рук. И. И. Ладыгин, к.т.н., проф. (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРАБОТКИ ОПТИМИЗИРУЮЩЕГО КОМПИЛЯТОРА ДЛЯ VLIW-ПРОЦЕССОРА**

Архитектура с «широким командным словом» (VLIW) относится к архитектурам, разработанным для использования параллелизма на уровне команд. В машинах с архитектурой VLIW многие статически запланированные, тесно связанные, мелкозернистые операции выполняются параллельно в рамках одного потока команд. Таким образом можно считать, что VLIW — это расширение многих текущих архитектур [1].

В ходе данной работы был разработан оптимизирующий компилятор для гипотетического VLIW-процессора. Характеристики целевого устройства, такие как количество и назначение функциональных блоков, временные задержки обработки команд и прочие передаются компилятору в качестве параметров. Псевдокод описания входной программы представляет собой контекстно-независимый язык и его порождающая грамматика задается в расширенной форме Бэкуса–Наура [2]. Для токенизации псевдокода применяется лексер с поддержкой регулярных выражений, а для формирования абстрактного синтаксического дерева из полученного потока токенов используется LARL(1)-парсер. Результирующее дерево обходится в глубину по алгоритму прямого обхода и в результате его обработки получается последовательность машинных инструкций. Из них, в свою очередь, и формируется непосредственно широкое командное слово путем их объединения с учетом отсутствия между ними зависимостей «чтение-после-записи», «запись-после-чтения» и «запись-после-записи». Каждый этап работы компилятора сопровождается генерацией отчета о работе обеспечивая наглядность всего процесса.

Разработанный компилятор может применяться в образовательном процессе для получения обучающимися знаний о принципах работы современных методов компиляции.

### **Литература**

1. **Joseph A. Fisher.** Very Long Instruction Word architectures and the ELI-512. SIGARCH Comput. Archit. News 11, 3 (June 1983), 140–150. DOI: <https://doi.org/10.1145/1067651.801649>
2. **Альфред В. Ахо, Моника С. Лам, Рави Сети, Джеффри Д. Ульман.** Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий. — 2 изд. — М.: Вильямс, 2008. — ISBN 978-5-8459-1349-4.

*А. Р. Муканова, студент; рук. Ш. А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАФЕДР ПО СИСТЕМЕ EFQM**

В настоящее время в ряде образовательных организаций в России и за рубежом, в том числе и в НИУ «МЭИ» внедряется европейская модель совершенствования EFQM, призванная анализировать и улучшать образовательную, научную и другие виды деятельности кафедр [1]. В соответствии с этой моделью каждой кафедре университета присваивается балл равный сумме баллов по двум группам критериев: критериев из группы возможностей и из результатов. Для получения таких оценок комиссия, состоящая из внешних экспертов, ассессоров EFQM и сотрудников университета, проводит встречи с заведующими кафедр на которых задают множество вопросов. По результатам обсуждения итогов встреч комиссия определяет балл и рейтинг кафедр в соответствии с моделью EFQM

Целью данной работы является исследование возможности применения машинного обучения для упрощения работы экспертов в части получения оценок по критериям из группы результаты.

В данном докладе предложена система оценивания деятельности кафедр по критериям из группы результаты на основе машинного обучения [2]. Разработана программа на языке программирования Python, которая оценивает деятельность кафедр по этим критериям для каждой кафедры НИУ «МЭИ». Исходные данные для таких оценок программа получает из системы kpi-monitoring, внедренной в НИУ «МЭИ».

В данном докладе также рассматриваются возможности применения машинного обучения для более сложных критериев модели EFQM — из группы возможности.

### **Литература**

1. **Маслов Д. В., Мазалецкая А., Стид К.** Модель совершенствования EFQM для повышения качества управления современным вузом // Высшее образование в России. — 2005. — N 9. — С. 46–52.
2. **Мюллер А.** Введение в машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо; пер. с англ. — М.: Альфа-книга, 2018. — 480 с. — ISBN: 978-1-449-36941-5.

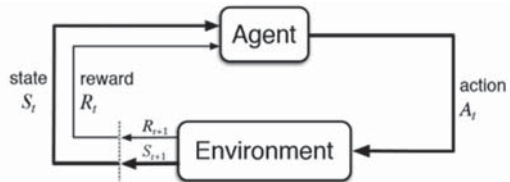
*Д. И. Простова, маг.; рук. Ш. А. Оцок, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ В АВТОМАТИЧЕСКИХ ТОРГОВЫХ СИСТЕМАХ

Машинное обучение — это наука, которая занимается анализом данных с целью выявления закономерностей и последующего обучения алгоритмов для дальнейшего прогнозирования. Оно находит широкое применение в современном мире, в том числе и в сфере финансов.

Изменения цен на акции происходят постоянно и нелинейно. Некоторые могут предполагать, они формируются случайным образом, однако это в корне неправильно. Традиционные методы временных рядов, такие как: интегрированная модель авторегрессии — скользящего среднего ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) и общая авторегрессивная гетероскедастичная модель GARCH (Generalized AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity) эффективны, когда основные свойства ряда со временем не изменяются (стационарный ряд). Для этого требуется, чтобы ряд был предварительно обработан и приведён к стационарности. Однако при реализации этих моделей на реальном рынке стационарность новых данных гарантироваться не может. В этом и заключается основная проблема.

В данной работе будут проанализированы математические и статистические методы для создания биржевого робота, который будет прогнозировать и вести электронные торги на бирже. Так же будут проанализированы существующие алгоритмы машинного обучения для решения нестационарных задач и их оценка для реального применения на торгах. Одним из таких алгоритмов станет обучение с подкреплением (рисунок 1), в котором агент, действуя в среде, должен найти оптимальную стратегию взаимодействия с ней. Основная цель агента — получить максимальную награду.



**Рис. 1.** Алгоритм с подкреплением

### Литература

1. **Флах П.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.
2. **Бриллинджер Д.** Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. 532 с.

*А. А. Журавлёв, студ.;  
рук. С. В. Борисова, старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ СТУДЕНТОВ**

Система оповещения студентов является информационным агрегатором, который объединяет и отправляет студентам сообщения из различных источников с некоторой периодичностью. Такая система позволяет информировать студентов, при этом не отвлекая их потоком сообщений. Сообщения могут быть получены от преподавателей или из .xls выгрузки балльно-рейтинговой системы БАРС.

Система имеет архитектуру, основанную на независимых узлах. Каждый узел охватывает свою область и может быть обновлен, развернут или масштабирован независимо. Такая архитектура предоставляет лучшую масштабируемость и гибкость в выборе технологий.

Система состоит из четырех узлов: узел взаимодействия с пользователем, узел отправки сообщений, узел преобразования .xls в JSON и узел-агрегатор.

Оповещение происходит с помощью отправки студентам сообщений по почте, SMS, ВКонтакте и Telegram. До момента отправки сообщения хранятся на Google Drive в формате JSON. Для их отправки требуются контакты студента, которые хранятся в базе данных.

Узел взаимодействия с пользователем предоставляет пользовательский интерфейс для создания сообщения. Он также преобразует данные, введенные пользователем, в JSON-файл и загружает его на Google Drive.

Узел отправки сообщений выгружает JSON-файлы из Google Drive, использует их для отправки сообщений по почте, SMS, ВКонтакте, Telegram и сохраняет отчет об отправке в базу данных. Он также объединяет сообщения, с общим адресатом для того, чтобы не отвлекать студента потоком сообщений. После отправки, сообщения удаляются из Google Drive.

Узел преобразования .xls в JSON получает данные из .xls выгрузки БАРСа и использует их для формирования JSON-сообщения и его загрузки на Google Drive. Этот узел позволяет оповестить студентов об их успеваемости в университете.

Узел-агрегатор управляет системой и позволяет отслеживать ее состояние.

### **Литература**

1. **Рихтер Д.** CLR via C#. — 4-е изд. — СПб.: Издательский Дом ПИТЕР, 2019. 896 с.
2. **Меле А.** Django 2 в примерах — ДМК Пресс, 2019. 408 с.

*М. М. Виноградов, асп.; рук. к.т.н. А. Р. Забиров (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ

В ходе работы научного коллектива В.В. Ягова по исследованию возникновения режима интенсивного теплообмена в плёночном кипении недогретой жидкости возникает необходимость построения модели для получения температуры перехода в этот режим. Предложенные ранее физические модели предсказывают температуру перехода с точностью около 30%. [1]

В настоящей работе предлагается использовать нейронные сети для предсказания температуры перехода как альтернативный результат физической модели. Для построения нейронной сети будет использоваться собственный программный комплекс, написанный на LabView. В качестве архитектуры нейронной сети будет использоваться стандартный вариант нейронной сети. В качестве входных данных будут использоваться комплексы в модели [1]. Выходным результатом нейронной сети ожидается получение температуры перегрева, когда происходит переход в режим интенсивного теплообмена.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В. А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-79-20402)

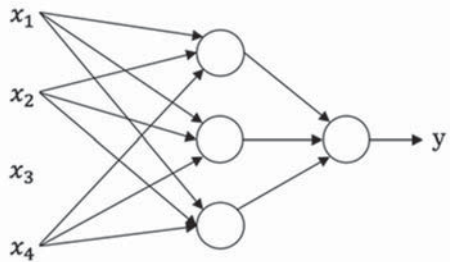


Рис. 1. Стандартная нейронная сеть

### Литература

1. A. V. Dedov, A. R. Zabirov, A. P. Sliva, S. D. Fedorovich и V. V. Yagov. «Effect of Coating by a Carbon Nanostructure on Heat Transfer with Unsteady Film Boiling.» High Temperature, т. 1, № 57, pp. 72–82, 2019.
2. С. А. Шевченко, Р. А. Шевченко, А. Р. Забиров, Д. А. Яшников, Ю. М. Феофилактова, С. Л. Соловьев, А. В. Кошечев и А. А. Смирнова. «Искусственные нейронные сети в теплофизических задачах атомной энергетики. Вопросы обоснования применимости». Москва, 2020.

*И. Е. Колесников, асп.; рук. С. В. Вишняков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАБОТЫ НА НЕРЕГУЛЯРНОМ НОСИТЕЛЕ**

Сверточные нейронные сети являются эффективным инструментом для решения задач анализа графической информации [1]. Однако, классическая сверточная архитектура сети применима только для регулярного графического сигнала. Вместе с тем, на нерегулярных носителях сигнала возникают сходные задачи интеллектуальной обработки сигнала [2].

Существует ряд методов, упрощающих применение сверточной архитектуры для использования на нерегулярных носителях, однако, данные методы жестко привязаны к специфичным входным признакам сети, и не позволяют использовать векторные и геометрические характеристики сигнала в качестве входных признаков. Тем не менее, был найден метод анализа сигнала на основе исключения ребер нерегулярной сетки [3], который лег в основу предлагаемой модели.

В данном докладе представляется модель архитектуры сверточной нейронной сети, которая реализует базовые операции сверточных нейронных сетей (свертка, подвыборка и нормализация данных), основываясь на геометрических и векторных характеристиках симплексов сигнала. Согласованность и равномерность перечисленных операций обеспечивается за счет выбора трех смежных симплексов для каждого рассматриваемого симплекса. По результатам программной реализации данного метода, будут проведены испытания модели на открытых наборах данных по классификации и сегментации изображений.

### **Литература**

1. **LeCun Y., Boser B., Denker J.S., Henderson D., Howard R.E., W. Hubbard and L.D. Jackel** Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, *Neural Computation*, 1989, vol. 1 (4), pp. 541–551
2. **Vishnyakov S., Pekhterev V., Sokolova E.** A Novel Method of the Image Processing on Irregular Triangular Meshes // *Proc. SPIE 10615, Ninth International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2017)*. doi:10.1117/12.2302961.
3. **Hanocka R., Hertz A., Fish N., Giryas R., Fleishman S., and Cohen-Or D.** MeshCNN: a network with an edge // *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. 2019 T. 38 №.4 P. 1–12.

*Е. А. Соколова, аспирант;  
рук. С. Н. Михалин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Автоматизация производства позволяет значительно улучшить производительность труда, обеспечить высокое качество выпускаемой продукции, снизить расход сырья, увеличить объемы выпуска, повысить безопасность и экономичность производства [1]. За исключением простейших случаев, подбор оборудования для автоматизации и процесс его внедрения на производство требует системного подхода к решению задачи.

В соответствии со стандартом IEEE 802, системы автоматизации принято разделять на малые, средние, большие и очень большие. В терминах сетей это определяется количеством станций, в терминах АСУ — количеством точек ввода\вывода (подразумеваются все входы и выходы устройств, то есть, возможное количество подключаемых датчиков, кнопок, ламп и т. д.).

На текущий момент подбором оборудования для подобных систем автоматизации занимаются специализированные компании, либо собственные сотрудники предприятия, что влечёт за собой множество минусов, связанных с человеческим фактором, а также при этом часто не учитываются нюансы, связанные с совместимостью приборов между собой, расстояний между ними, параметров линий связи и пр. Формализованный научный подход к методике подбора помог бы решить эту проблему.

В работе предлагается введение параметра  $A$  — сборной характеристики, которая высчитывается для каждого прибора автоматике индивидуально, и включает в себя стоимость, срок поставки, гарантийный срок, оценки клиентов, страну производства, а также весовые коэффициенты, которые пересчитываются каждый раз при выборе текущего прибора под определенную задачу. В ближайшем будущем планируется разработка ПО, осуществляющего хранение и пересчёт параметров  $A$ , а также выдачу спецификации оборудования и функциональной схемы запрашиваемой системы. Это позволит упорядочить процесс подбора оборудования под имеющееся задание, исключить ошибки, связанные с отсутствием принятия во внимание всех особенностей конкретного прибора, а также повысить скорость получения законченного решения по сравнению с ручным подбором.

### **Литература**

1. **Рачков М. Ю.** Технические средства автоматизации. М.: МГИУ, 2006.



*Н. Д. Петров, студ. (НИУ «МЭИ»); рук. А. В. Берг, начальник отдела светотехнического оборудования (ГОКБ «Прожектор»)*

## **АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АЭРОДРОМОВ**

По многолетней статистики Международной организации гражданской авиации (ИКАО) на взлетно-посадочных полос происходит около 30% авиационных происшествий от их общего числа. Существенное количество авиационных происшествий и катастроф связано с несовершенством процедур аэродромного обеспечения. Таким образом, существует проблема выбора и эксплуатации надежного светотехнического оборудования для взлетно-посадочных полос.

Для решения вышеописанной проблемы, реализуется программа определяющая:

- надежность систем взлетно-посадочных полос;
- расчет ЗИП, в зависимости от климата;
- поиск оптимальных схмотехнических решений для увеличения надёжности систем взлетно-посадочных полос;
- разработка системы предупредительного ремонта.

В докладе приводятся методики расчета надежности СТО аэродромов и результаты расчетов, а также предложения по совершенствованию СТО аэродромов.

### **Литература**

1. **Черкесов, Г. Н.** Оценка надежности систем с учетом ЗИП: учеб. Пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 480 с.
2. **ГОСТ РВ 27.3.03-2005.** Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
3. **Шкляр В. Н.** Надежность систем управления: учебное пособие / В. Н. Шкляр; Томский Политехнический Университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 126 с.

*А. А. Гаврилов, С. Д. Блаженова, студенты; рук. С. В. Борисова, ст. преподаватель, А. Н. Зейн, ассистент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С БАЗОЙ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА СООБЩЕНИЙ**

При взаимодействии с любой базой данных (БД) через клиент-серверное приложение (далее просто приложение) возникает вопрос работы нескольких пользователей с одними и теми же данными. Например, если один пользователь хочет удалить данные, а другой эти же данные извлекает для обработки, то возникает коллизия.

Для обеспечения многопользовательского доступа к БД можно использовать механизм транзакций и блокировок [1], однако при работе с разными СУБД эти механизмы могут отличаться, поэтому данный метод не всегда удобен, либо избыточен для поставленных задач.

Поэтому был придуман иной вариант решения данной проблемы, который сводится к созданию лог-таблицы, процедур поиска блокирующих сообщений и отправки в БД сообщений о работе с определенными данными.

Лог-таблица состоит из трех столбцов: «Логин пользователя», «Сообщение» и «Дата».

«Логин пользователя» отвечает за идентификацию пользователя. «Сообщение» содержит информацию о действиях пользователя с определенными данными, например, «Update\_exp\_1» — обновление данных, относящихся к эксперименту под номером 1, а «Use\_exp\_1» — использование этих же данных с какой-либо иной целью, например, обработка. А «Дата» регистрирует время начала работы с данными.

Приведенные в примере сообщения блокируют друг друга и сами себя, поскольку если один пользователь редактирует данные эксперимента № 1, то другие пользователи не могут редактировать или использовать их. При окончании работы с этими данными запись из лог-таблицы удаляется и данные становятся доступны другим пользователям.

Таким образом, за механизм блокировок отвечает процедура поиска блокирующих сообщений в лог-таблице, а за общую целостность данных отвечает приложение, в котором программист определяет точки начала и конца работы с теми или иными данными для проверки и осуществления блокировки или отправки/удаления сообщений в лог-таблице.

### **Литература**

1. **Новиков Б. А.** Основы технологий баз данных. — Москва: ДМК Пресс, 2019. — 240 с.

*А. С. Федулова, асп.;*  
*рук-ли А. С. Федулов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);*  
*Я. А. Федулов, к.т.н. (Филиал «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРАХ**

Современные вычислительные кластеры сочетают в себе ряд архитектурных решений, среди которых можно выделить общую (внутри узла) и распределенную (междуузловую) память [1]. В соответствии с этим для параллельного программирования используются стандарты для систем с общей памятью (например, OpenMP) и распределенной памятью (например, MPI), а также их сочетания, приводящие к гибридным программам. Актуальным является необходимость анализа производительности существующих технологий параллельного программирования, а также разработка рекомендаций по их использованию.

В работе представлены результаты исследований трудоемкости (прежде всего производительности) тестовых программ при их запуске на вычислительном кластере Смоленского филиала МЭИ [2]. Программы были разработаны в стандартах OpenMP и MPI. Основной анализируемый фактор — соотношение обменных и вычислительных операций в каждой программе.

В результате экспериментального исследования был сделан вывод о том, что при большом количестве операций межпроцессного обмена при работе на одном вычислительном узле целесообразнее использовать OpenMP. Получены экспериментальные выражения, оценивающие производительность OpenMP- и MPI-программ в зависимости от соотношения количества вычислительных операций и операций обмена.

Полученные результаты могут быть использованы для выбора одного из стандартов OpenMP или MPI, или их совместного использования в зависимости от класса задач, предназначенных для реализации на вычислительном кластере.

### **Литература**

1. **Кастерин Д. С.** Использование технологий MPI и OpenMP в кластерных системах с локальными менеджерами ресурсов // Вестник СПбГУ. 2010. Вып. 4.
2. **Борисов В. В., Зернов М. М., Федулов А. С., Якушевский К. А.** Исследование характеристик гибридного вычислительного кластера // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 129–146.

*А. М. Быков, студ.; рук. Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕФАКТОРИНГ ИСХОДНОГО ТЕКСТА ПРОГРАММ**

Рефакторинг исходного текста программ является актуальной задачей и широко применяется для упрощения исходного текста программ, изменения структуры исходного текста программ для облегчения поддержки и развития исходного кода программы [1]. Рефакторинг исходного текста программы является важным этапом в цикле разработки программного обеспечения. Существует множество различных методов рефакторинга исходного текста программы, например, выделение новых функций, удаление повторяющихся или неработающих участков кода, и др. [1, 2]. Для автоматизации процесса рефакторинга существуют специальные программные средства, например, CodeRush, ReSharper и др. Также, поддержка автоматического рефакторинга имеется во многих средах разработки (наиболее популярные примеры — среды разработки Visual Studio, Eclipse, IntelliJ IDEA).

Среди преимуществ автоматического рефакторинга исходного текста программ важно отметить такие, как скорость рефакторинга (рефакторинг, проводимый вручную, требует больше времени) и уменьшение количества ошибок, совершенных в процессе рефакторинга (в результате рефакторинга, проводимого вручную, возможны ошибки, при наличии которых возможна некорректная работа программы). К инструментам автоматического рефакторинга предъявляются довольно высокие требования, такие, как корректность преобразования исходного текста программы (результаты работы программы после рефакторинга исходного текста должны быть точно такими же, как до рефакторинга), поддержка различных методов рефакторинга.

В рамках работы над магистерской диссертацией предполагается разработать экспериментальную версию программного средства, проводящую автоматизированный рефакторинг исходного текста программ. Рефакторинг будет проводиться методом выделения повторяющихся поддеревьев синтаксического дерева программы (например, повторяющиеся участки кода, функции, имеющие незначительные отличия), и преобразования данных поддеревьев в новые функции или классы. Предполагаемый язык обрабатываемых программ — C++, для проверки результатов преобразования предполагается использовать статический анализатор кода Cppcheck.

### **Литература**

1. **М. Фаулер., Бек К., Брант Д., Робертс Д., Апдайк У.** Рефакторинг: улучшение существующего кода = Refactoring: Improving the Design of Existing Code (2000). — СПб: Символ-Плюс, 2009. — 432 с.
2. **Д. Кериевски.** Рефакторинг с использованием шаблонов = Refactoring to Patterns. — Вильямс, 2008. — 400 с.

*П. Е. Негрозова, студ.; рук. В. О. Рыбинцев, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЩЕНИЯМИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

На данный момент, все больше и больше современных компаний для управления услугами информационных технологий используют подход ITSM (IT Service Management). Служба поддержки (Service Desk) — это основная ИТ-функция в рамках управления ИТ-услугами, предназначенная для обеспечения единой точки контакта для удовлетворения коммуникационных потребностей как пользователей, так и ИТ-персонала. Для реализации системы Service Desk существуют различные программные решения, которые можно разделить на серверные и облачные.

В общем виде система должна реализовывать следующий функционал: поддержка различных ролей (различный уровень доступа), бизнес-процессы (возможность выбора бизнес-процесса под конкретные цели), взаимодействие с клиентом.

При выборе системы учитываются особенности ее назначения, выдвинутые конкретным предприятием, такие как:

- Учет поступающих заявок;
- Учет и контроль времени реакции и времени решения;
- Уведомление инициатора о текущей ситуации по заявке;
- Распределение заявок по категориям, услугам, исполнителям;
- Оценка деятельности исполнителей;
- Привязка электронных писем к заявке;
- Отчетность;
- Безопасность системы (использование только КСПД).

В докладе приводится классификация SD-систем, осуществляется их сравнение и анализ, на основе которого даются рекомендации по реализации систем рассматриваемого типа для территориально-распределенных предприятий.

### **Литература**

1. **Олейник А. И.** ИТ-инфраструктура: учеб.-метод. пособие / А. И. Олейник, А. В. Сизов. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2012. — 134 с.
2. **ITSM** [Электронный ресурс] // <http://Wikipedia.org/wiki/ITSM>

*Т. А. Епихина, студ.; рук. В. О. Рыбинцев, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОМ ЛИЦЕЕ**

Сегодня перед многими образовательными организациями стоит задача автоматизации учебного процесса, который состоит из проведения лекций, контрольных мероприятий, контроля успеваемости. Также ставится задача организации дистанционного обучения.

Системы, позволяющие автоматизировать учебный процесс, называются LMS (от англ. Learning Management System). В данной работе на примере конкретного лицея решается проблема выбора масштабируемой системы автоматизации учебного процесса.

В докладе представлено сравнение функциональных особенностей программных средств управления обучением на основе открытых решений. Например, Moodle, Atutor, Forma LMS, Opigno.

Сравнение производится по следующим критериям:

- Возможности интеграции
- Русификация
- Дата выхода последнего обновления
- Поддержка планирования
- Встроенный конструктор курсов
- Поддержка импорта
- Разработка тестов
- Проведение вебинаров
- Возможность оплаты курсов
- Кроссплатформенность
- Объединение пользователей в группы

В работе приводятся рекомендации по формированию структуры и состава комплекса технических средств для выбранной LMS на примере территориально распределенного лицея.

### **Литература**

1. **Карпенко О. М.** Виртуальные технологии // О. М. Карпенко, А. В. Абрамова, М. Е. Широкова, В. А. Басов Дистанционное и виртуальное обучение. — 2015. — № 2
2. **Wise L.** LMS Governance Project Report // Wise L., Quealy J. Report for the Melbourne-Monash Collaboration in Educational Technologies, 2006. — 91 p.

*Н. Г. Бабак, асп.; рук. Ш. А. Оцоков, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

В современном мире объём хранимых и обрабатываемых данных постоянно растёт, а сами данные нуждаются всё в более надёжной защите. Особенно актуален вопрос защиты персональных данных, передаваемых через компьютерные сети и хранимых в информационных системах. Перечень и порядок обработки персональных данных зафиксирован в федеральном законе № 152 «О персональных данных» [1].

Люди сами передают компаниям информацию о себе, подписывая соглашение об обработке персональных данных. Для развития своих сервисов у компаний возникает желание обрабатывать персональные данные пользователей, строить прогнозы на их основе. Из-за юридических ограничений и рисков понести репутационные потери данные в открытом виде нельзя обрабатывать и хранить в специализированных системах. Также в случае обработки данных в компаниях-партнёрах их необходимо передать по сети, что вызывает дополнительные сложности. Решить, описанные выше проблемы, позволяет обезличивание данных.

Обезличивание персональных данных — это действия, в результате которых становится невозможным без использования дополнительной информации определить принадлежность персональных данных конкретному субъекту этих данных. Чтобы обезличить информацию, недостаточно её просто заменить на случайную, схожую по типу. В связи с чем возникает несколько проблем:

1. Классификация данных для последующего выбора алгоритма обезличивания;
2. Реализация надежных и автоматических алгоритмов обезличивания, позволяющих однозначно определить, что данные обезличены;
3. Обезличивание данных не должно приводить к падению качества обучения моделей искусственного интеллекта.

Для решения первой проблемы классификации данных, а также для автоматизации процесса обезличивания, возможно использование алгоритмов машинного обучения [2]. В зависимости от того структурированная или неструктурированная информация возможно применение различных моделей искусственного интеллекта.

### **Литература**

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» // СПС КонсультантПлюс.
2. **Рашка С., Мирджалили В.** Python и машинное обучение // СПб.: ООО «Диалектика», 2020. 848 с.

*И. А. Черешнев, студент; рук. С. В. Борисова (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ**

В настоящее время показатели добычи нефти непрерывно изменяются. Это вызвано увеличением мирового промышленного производства. Имеющихся запасов горючего вещества без учета возможностей ядерной и термоядерной энергетики хватит на пару десятков лет.

Прогнозирование показателей добычи нефти может позволить определить, когда наступит их предел. На это стоит обратить особое внимание. Ведь неправильная оценка запасов нефти может привести к застоям производства и к другим проблемам, приводящим к нарушению нормального функционирования общества. Начинать работы, направленные на прогнозирование, необходимо только после анализа и обработки исходных показателей об добычи ресурса за несколько лет. Для этого будут использованы такие способы работы с данными в цифровой форме, как средства математической статистики и методы оптимизации.

В данной работе будут исследованы и построены ряд существующих алгоритмов машинного обучения для решения задач, с помощью которых можно прогнозировать показатели добычи нефти на ближайший год. Для решения задачи будет применяться обучение с учителем — способ, в ходе которого испытываемая система принудительно обучается с помощью примеров «стимул-реакция».

### **Литература**

1. **Мюллер А., Гвидо С.** Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. — СПб.: Питер, 2017. — 480 с.
2. **Владимир Вьюгин.** Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. — МЦМНО, 2013. — 390 с.
3. Сайт независимого агентства в составе федеральной статистической системы США. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.eia.gov/>



*Ш. Х. Шихалиев, студ.; рук. Д. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

В большинстве приложений обработки цифровых изображений, изображения или видео с высоким разрешением обычно используются для их последующей обработки и анализа. Разрешение цифрового изображения можно классифицировать по-разному: разрешение пикселей, пространственное разрешение, спектральное разрешение и радиометрическое разрешение. В этом контексте нас интересует только увеличение разрешения в пикселях.

В обработке изображений существует класс методов Super-resolution (SR), которые позволяют качественно увеличить разрешение исходного изображения. Алгоритмы SR используют два подхода для вычисления результирующего изображения: 1) на базе множества кадров одного объекта; 2) самообучающаяся система с базой образцов.

За основу метода SR можно взять идею использования соответствия фрагментов исходного изображения и его уменьшенной копии для увеличения изображения [1]. Предложенный авторами статьи подход использует свойства самоподобия изображений. Перспективным кажется применение этого подхода для изображений, синтезированных методами компьютерной графики, т.к. такие изображения часто содержат одни и те же текстуры на нескольких уровнях детализации. Эту идею можно развивать несколькими способами, например, использовать различные алгоритмы для увеличения образов, используя базу фрагментов и нейронную сеть. Также можно попробовать определить каким образом было получено обрабатываемое изображение и затем использовать эти данные при формировании базы фрагментов. Таким образом, предполагается совмещать подходы различных методов для получения нового улучшенного алгоритма SR.

При получении успешных результатов, новые алгоритмы супер-разрешения можно будет использовать для ускорения обработки изображений и в системах компьютерного зрения для повышения вероятности распознавания образов.

### **Литература**

1. **Super-Resolution from a Single Image** [[http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~vision/single\\_image\\_SR/files/single\\_image\\_SR.pdf](http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~vision/single_image_SR/files/single_image_SR.pdf)]
2. **Peyman Milanfar**. Super-resolution Imaging / Peyman Milanfar — CRC Press, 2011.

**Секция 16**  
**УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ**  
**ТЕХНОЛОГИИ**  
**Control and intelligent technologies**

---

*Председатель секции: к. т. н. Бородкин Артем Александрович*

*Секретарь секции: Федорова Екатерина Владимировна*

*А. И. Бурмистров, асп.;*  
*науч. рук. М. Ю. Косинский, к.т.н. (ФГУП МОКБ «Марс», г. Москва)*

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

В настоящее время применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) находит широкое применение в гражданской и военной сферах деятельности. На БПЛА размещаются различные приборы для ведения наблюдения и разведки: фото/видео аппаратура для контроля движения транспорта, наблюдения за движимым или недвижимым имуществом, контроля экологической ситуации в районе или выполнения геопривязки различных объектов. В последние годы количество задач, возлагаемых на БПЛА, растёт, что увеличивает требования к оператору, в том числе в ситуациях, требующих распознавания наблюдаемого объекта. Для того, чтобы минимизировать или исключить участие человека при распознавании объектов, требуется «научить» систему управления (СУ) БПЛА самостоятельно находить объекты определённого типа и сопровождать их.

Исходя из вышесказанного, крайне актуальными представляются следующие задачи:

- 1) Осуществление распознавания объектов (техники, зданий, людей в лесу, поле и т.д.);
- 2) Автоматическое принятие решения о сопровождении объекта;
- 3) Осуществление формирования управляющих сигналов для наведения на распознанный объект и его сопровождения (центрирования камеры на объект для приближения и более детальной съёмки).

В связи с развитием современных методов машинного зрения, в том числе, основанных на искусственных нейронных сетях, представляется перспективным использование данных технологий при решении задачи распознавания объектов БПЛА.

В докладе проводится сравнительный анализ существующих подходов к распознаванию объектов [1], который позволит обосновать выбор наиболее подходящего для обеспечения высокой достоверности распознавания с учётом специфики БПЛА (значительная зашумлённость данных, ограниченные вычислительные ресурсы, работа в реальном времени, низкая себестоимость).

### **Литература**

1. **Гузенко О. Б., А. Н. Кагулаев, А. А. Храмичев, С. В. Ягольников под ред. А. А. Храмичева**, Автоматическое обнаружение и сопровождение динамических объектов на изображениях, формируемых оптико-электронными приборами в условиях априорной неопределённости. Методы и алгоритмы. — М.: Радиотехника, 2015. — 280 с.

А. В. Алымова, студ.; рук. В. М. Беседин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТЫ ТОЧНОСТИ САУ АНТЕННОЙ

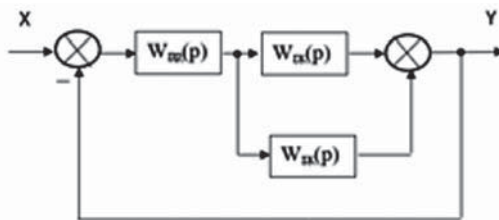
В настоящее время задача поиска и обнаружения объекта осуществляется с помощью САУ антенной. САУ антенна применяется для передачи информации. Таким образом, для поиска и обнаружения объекта САУ требует достаточно высокой точности работы.

Существует несколько основных способов повышения точности САУ:

- увеличение коэффициента усиления разомкнутой системы;
- повышение порядка астатизма системы;
- масштабирование;
- использование двухконтурных САУ и т. д.

Двухконтурные системы образуют автоматические системы, построенные на принципе «грубого» и «точного управления». Грубый канал осуществляет приближенное воспроизведение входного воздействия, а точный — отработывает ошибку грубого, благодаря чему ошибка системы может быть существенно уменьшена [1]. Построение данной системы при использовании «грубого» контура, работающего в большом диапазоне углов и скоростей, и «точного» контура, работающего в поле ошибок, обеспечивает высокую угловую скорость работы САУ, а значит повышает точность ее работы. Все вышесказанное является преимуществом перед другими способами повышения точности работы САУ. Структурная схема такой двухконтурной САУ приведена на рис. 1.

Существуют различные этапы режимов работы системы наведения: начальная выставка — установление начального углового положения датчиков и приемников системы; поиск — антенна более точно находит предмет с помощью непрерывных излучателей; захват — происходит изменение от широкой диаграммы направленности к узкой; автосопровождение — антенна представляет собой следящую систему.



**Рис. 1.** Структурная схема двухконтурной САУ:  
 $W_{гр}(p)$  — передаточная функция приемника;  
 $W_{ГК}(p)$  — передаточная функция «грубого» контура;  
 $W_{ТК}(p)$  — передаточная функция «точного» контура

### Литература

1. Афонин А. А., Никитин В. Н., Шацкий А. В., Чемоданов В. Б. Автоматические устройства и системы для наведения лазерных пучков, ФИЗМАТЛИТ, 2015.

*А. М. Соколов, студ.; рук. В. В. Борисов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ**

В настоящее время робототехнические системы широко используются в различных отраслях промышленности, перспективных образцах военной техники и в сферах, в которых непосредственное участие человека затруднено. Среди робототехнических устройств большое распространение получили последовательные роботы-манипуляторы. Среди характеристик таких роботов обычно выделяют их быстродействие, точность позиционирования и удельное энергопотребление. На эти показатели влияют различные факторы неопределенности. Как показывает анализ, традиционные алгоритмы управления не учитывают в полной мере данные факторы.

С учетом данных обстоятельств для повышения быстродействия и вероятности захвата объекта может быть разработан модифицированный интеллектуальный алгоритм, предполагающий применение нейросетевой модели для вывода рабочего органа в заданную область пространства [1] и нечеткого численного алгоритма для уточнения его позиционирования в условиях неопределенности [2, 3]. Обосновано, что для решения обратной задачи кинематики при управлении роботами рассматриваемого типа в качестве нейросетевой модели целесообразно применение модели на основе многослойного персептрона. Также в разработанном алгоритме в качестве численного метода предложено использование метода Гаусса–Ньютона с нечеткими параметрами, которые определяются на основе анализа факторов неопределенности. Применение разработанного алгоритма позволит расширить сферу использования робота-манипулятора, повысить его быстродействие и вероятность захвата, и как следствие, снизить удельное энергопотребление и степень износа исполнительных механизмов.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

### **Литература**

1. **Ганин П. Е., Кобрин А. И.** Методика построения гибридной нейросистемы реального времени для решения обратной задачи кинематики избыточного манипулятора. // Вестник МЭИ. — 2018 — № 4. — С 128–137.
2. **Мисник А. Е., Борисов В. В.** Композиционное нейросетевое моделирование сложных технических систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2016 — № 7 — С. 39–46.
3. **Борисов В. В., Мисник А. Е.** Комбинированный нейросетевой способ моделирования для оперативного управления сложными системами // Информационные технологии. — 2012 — № 7 — С. 69–72.

*З. Бучаала, асп.; рук. Г. Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

Рассмотрена задача оперативного обнаружения внезапного изменения вероятностных свойств (разладки) временного ряда с использованием непараметрических алгоритмов [1]. Отмечено, что, хотя такие алгоритмы при прочих равных условиях уступают параметрическим по эффективности (быстроте обнаружения разладки), но зато обладают рядом преимуществ, не требуя, в частности, для своего применения детальной информации о вероятностных свойствах контролируемого процесса. Это принципиально важно при построении различного рода мониторинговых систем, когда детальная информация об этих свойствах обычно отсутствует. Предложено в качестве базы для построения подобных алгоритмов использовать некоторые из известных непараметрических критериев выявления трендов, а именно критерий знаков, критерий серий и критерий Рамачандрана–Ранганатана [2].

В качестве инструмента исследования использован метод имитационного моделирования. План проведения имитационных экспериментов разрабатывался отдельно для каждого из трех предложенных алгоритмов с учетом их индивидуальных особенностей, но исходя из общего требования полноценного воспроизведения динамики работы контролирующего алгоритма в реальных условиях, когда разладка может появиться в любой момент и существует переходной процесс в значениях решающей функции. С помощью имитационного эксперимента для каждого из рассматриваемых алгоритмов получены и систематизированы данные об их статистических характеристиках и эффективности, достаточные для целей синтеза контролирующей процедуры с заданными свойствами. В качестве показателя эффективности алгоритмов использовалось отношение среднего интервала между ложными тревогами к величине среднего запаздывания в обнаружении определенного изменения контролируемого параметра.

Установлено, что наиболее высокой эффективностью, для некоторых вариантов близкой к эффективности параметрических методов, обладает контролирующий алгоритм на базе критерия Рамачандрана–Ранганатана.

### **Литература**

1. **Chakraborti S., Graham M. A.** Nonparametric Statistical Process Control. John Wiley & Sons Ltd, 2019, 429 p.
2. **Веретельникова И. В., Лемешко Б. Ю.** Аналитический обзор критериев проверки случайности и отсутствия тренда // Труды XII международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения” АПЭП-2014. Т. 6, Новосибирск, 2014. — С. 16–23.

*М. В. Коротченков, студ., Э. Х. Хунов, студ.;  
рук. В. О. Толчеев, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕМАТИК НАУЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЛАТЕНТНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Обучение компьютеров естественному языку остается одной из сложнейших задач в области интеллектуального анализа данных. Язык содержит огромный словарный запас, термины могут иметь разное значение в зависимости от контекста. Латентный семантический анализ (ЛСА, Latent semantic analysis) — эффективный способ изучения текста на естественном языке и поиска скрытых тематик с учетом контекста и взаимной встречаемости слов [1].

В данной работе входными данными являются тезисы докладов Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», состоявшейся в 2017 году [2]. В сборник трудов включено 96 документов, распределенных по 12 секциям и представленных на русском и английском языках. В работе используются только русскоязычные тексты.

Идея исследования заключается в том, чтобы с помощью ЛСА, проанализировать научные статьи, выявить тематики в исходном корпусе, а затем сравнить полученные тематики с рубриками конференции. Задача характеризуется значительным пересечением терминов, используемых для описания каждой рубрики. Кроме того, секции конференции содержат существенно различающееся количество докладов, а некоторые секции являются достаточно близкими по тематике.

Самый простой способ найти похожие документы — использовать векторное представление текста и косинусное сходство, поэтому после удаления стоп-слов и лемматизации были составлены матрица «документ-термин» и нормализованная матрица TF-IDF. Выделение тематик производится с помощью сингулярного разложения нормализованной матрицы [1].

В ходе настройки параметров метода варьировалось число тематик и число терминов, описывающих тематику. Наиболее интерпретируемые результаты получены для 6 тематик, которые наилучшим образом описывают доклады, представленные на конференции.

### **Литература**

1. **Маннинг К. Д., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. — Вильямс, 2011. — 527 с.
2. **Математические методы распознавания образов:** Тезисы докладов 18-й Всероссийской конференции с международным участием, г. Таганрог, 2017 г. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2017. — 228 с.

*Э. Х. Хунов, М. В. Коротченков, студенты.;  
рук. В. О. Толчеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОРОТКИХ ТЕКСТОВЫХ СООБЩЕНИЙ**

В связи с постоянным ростом объемов информации, представленной в электронном виде, становится сложнее обрабатывать и анализировать данные вручную. Именно поэтому большую актуальность приобретают методы автоматизации обработки больших массивов текстовой (неструктурированной) информации.

Одним из важнейших этапов анализа является классификация и кластеризация, позволяющие систематизировать тексты по группам, соответствующим определенным тематикам (рубрикам). В статье рассматриваются алгоритмы кластеризации, для которых не требуется предварительная информация о рубриках исходных данных.

Основная идея большинства алгоритмов кластеризации — это объединение одинаковых объектов в один кластер на основе их сходства, измеряемого с помощью специальных мер близости.

Целью работы является проведение кластеризации коротких текстовых документов по тематическим группам. Под коротким текстовым документом понимаются, новостное сообщение, которое обычно содержит не более тысячи слов.

Для экспериментальных исследований используется текстовая коллекция 20newsgroups (<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Twenty+Newsgroups>).

Текстовые документы описываются векторной моделью, проводится удаление стоп-слов, стемминг, взвешивание информативных терминов.

Для кластеризации применяются различные подходы: метод  $k$  — средних, плотностной алгоритм пространственной кластеризации с присутствием шума (DBSCAN) и графовый метод, реализованный с помощью программы Gephi [1,2]. Проводится настройка параметров методов. В качестве критериев качества кластеризации используются коэффициент силуэта и модулярность.

Проводится сравнительный анализ результатов кластеризации. Оценивается влияние размера выборки и меры близости на качество кластеризации. Объясняются факторы, которые негативно влияют на качество кластеризации.

### **Литература**

1. **Флах П.** Машинное обучение — Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М.: ДМК-пресс. 2015. — 400 с.
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gephi.org/> — Gephi — The Open Graph Viz Platform



*П. А. Козлов, Ш. И. Сафин, студенты;  
рук. В. О. Толчеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ**

При обработке и анализе текстовых документов (сообщения электронной почты, новостная информация, научные публикации, отзывы о товарах и услугах) возникает задача бинарной или многоклассовой классификации.

В настоящее время существует значительное количество методов классификации, которые позволяют решить данную задачу. Эти методы хорошо изучены и часто применяются на практике. Для своих исследований мы выбрали байесовский классификатор, деревья решений, случайный лес и  $k$ -ближайших соседей [1]. Для классификации также часто используются центроидные методы, предусматривающие расчет центроида — гипотетического центра (профиля) класса. Существуют различные способы определения центроида. В нашей работе рассматривается подход на основе построения профиля (терминологического портрета) класса [2]. Профиль составляется из наиболее информативных, классообразующих терминов, для отбора которых используются модификации хи-квадрат критерия и коэффициенты ассоциативности [2].

Исследования проводятся на двух выборках. Первая выборка содержит два класса и сформирована из библиографических описаний статей, полученных из научной электронной библиотеки Elibrary по запросам “Интеллектуальный анализ данных” (Text Mining) и “Информатика” (Computer Science). Вторая выборка состоит из новостных сообщений агентства Reuters по восьми тематикам.

На стадии предварительной обработки текстовых данных нами применяются стандартные процедуры (удаление неинформативных документов, удаление стоп-слов, лемматизация). Для сравнения методов используются показатели качества «полнота-точность» и  $F_1$ -мера.

Полученные результаты показывают, что качество классификации с помощью профильных методов превосходит большинство анализируемых алгоритмов и уступает только методу случайный лес.

### **Литература**

1. **Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. — М.: Вильямс, 2014. — 528 с.
2. **Мохов А. С., Толчеев В. О.** Разработка профильных методов классификации двуязычных текстовых документов. Материалы 6-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления — МКПУ-2013. — Дивноморское, 2013. Т. 1. С. 75–79.

*Ю. С. Александрова, А. В. Овивян, студенты;  
рук. О. С. Колосов, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ**

В докладе представлены результаты обработки в частотной области тестовых периодических сигналов отклика неминимально-фазового динамического объекта. В качестве такого объекта выступает сетчатка человеческого глаза. Сигнал отклика сетчатки представляет собой запись изменения биопотенциала сетчатки в ответ на периодические световые вспышки. Такая запись изменения биопотенциала носит название электроретинограммы (ЭРГ). Диагностика состояния сетчатки в настоящее время производится по характерным точкам ЭРГ, связанным с координатами частных экстремумов на временной зависимости. Однако, признаков, извлекаемых непосредственно из ЭРГ относительно немного, что вынуждает искать дополнительные признаки для диагностики в частотной области [1]. При этом, наряду с амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ), существенную роль играют фазо-частотные характеристики (ФЧХ) сетчатки [2]. Такое значение ФЧХ сетчатки объясняется тем, что, по существу, сетчатка представляет собой неминимально-фазовый динамический объект [1]. В докладе демонстрируются сводные результаты обработки ЭРГ в частотной области при разных условиях тестирования. При этом предлагается ряд интегральных показателей, вводимых путем дополнительной обработки и аппроксимации АЧХ и ФЧХ. Дополнительные признаки эффективно дополняют область признакового пространства, что облегчает построение систем диагностики современными методами искусственного интеллекта.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00143а)

### **Литература**

1. Анисимов Д. Н., Вершинин Д. М., Колосов О. С., Зуева М., Цапенко И. В. Построение систем диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта с учетом параметров динамической модели сетчатки // Вестник МЭИ. — 2010. — № 4. — С. 26–33
2. Александрова Ю. С., Баларев Д. А., Колосов О. С., Короленкова В. А., Титова О. Д. Формализация признаков в частотной области для диагностики состояния неминимально-фазовых объектов // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVIII Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2019 г., Алушта. — М.: НИЯУ МИФИ. 2019. С. 57.

*В. А. Короленкова, асп.; И. А. Казюкова, студ.;  
рук. О. С. Колосов, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ДЛЯ ОДНОГО РЕЖИМА ТЕСТИРОВАНИЯ**

Попытки создать систему диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта неизменно наталкиваются на проблему нехватки информативных признаков заболеваний. Как правило, используемые признаки имеют значительные области взаимных пересечений для разных патологий, что снижает качество работы системы диагностики. Одним из возможных направлений, связанных с расширением признакового пространства диагностируемого объекта, является создание имитационной модели [1], ориентированной на отражение конкретного режима тестирования объекта. Модель ищется в классе линейных и использует наработки физиологов в части структуры такой модели. В работах делается попытка расширения признакового пространства для диагностики за счет привлечения коэффициентов подстраиваемой модели под наблюдаемый процесс. Однако, эффект от использования таких моделей оказывается малозначимым, так как подобные модели в недостаточной мере учитывают физические процессы, происходящие в объекте. В докладе рассматривается модель сетчатки, подстраиваемая не только под наблюдаемый процесс изменения биопотенциала сетчатки под воздействием тестирующего светового импульса, но и обладающая частотными характеристиками, которые оцениваются в соответствии с разработанными методиками [2]. В докладе демонстрируется структурная схема модели, анализируются связи временных процессов с видом частотных характеристик объекта и модели и коэффициентами модели.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00143а).

### **Литература**

1. **Анисимов Д. Н., Вершинин Д. М., Колосов О. С., Зуева М., Цапенко И. В.** Построение систем диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта с учетом параметров динамической модели сетчатки // Вестник МЭИ. — 2010. — № 4. — С. 26–33.
2. **Вершинин Д. В., Короленкова В. А., Парфенова О. И., Колосов О. С.** Преобразование результатов ретинографических исследований для целей диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта (пленарный доклад) // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXIX Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2020 г. Алушта. — СПб.: ГУАП, 2020. С. 4–12.

*М. А. Бабочкин, асп.; К. Ю. Буленок, студ.;  
рук. О. С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ ФОРМИРУЮЩИХ ФИЛЬТРОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Повсеместное внедрение микропроцессорной управляющей техники в системы управления во многих случаях коренным образом меняет подходы к выбору и синтезу параметров корректирующих устройств. Принципиальным моментом тут является высокое быстродействие современных процессоров, которые позволяют с одной стороны реализовывать стандартные алгоритмы управления, характерные для непрерывных систем, а с другой стороны — позволяют осуществлять пропуск части отсчетов, искусственно вводя увеличенный шаг дискретизации. Такой прием в радиотехнике [1] позволяет получить, так называемый, гребенчатый фильтр. Применительно к задачам управления удастся использовать только простейшие фильтры первого порядка высоких и низких частот [2], так как использование фильтров более высоких порядков неизбежно приводит к проблемам с устойчивостью замкнутой системы. Показано, что использование гребенчатых фильтров снижает мощность высокочастотных помех более чем на 30% по сравнению с аналоговыми прототипами. В докладе рассматривается методика использования в системах управления малоизвестного формирующего фильтра [3]. Показывается, что этот фильтр удобно использовать для уменьшения мощности высокочастотных помех в сигнале управления, но при этом он оказывает меньшее влияние на качество переходных процессов в системе по сравнению фильтром нижних частот. В докладе подробно рассматривается вопрос использования формирующего фильтра для восстановления из модулированного по амплитуде непрерывного сигнала управления. Кроме этого, показывается, как с помощью такого фильтра можно блокировать нежелательные гармоники в сигнале управления известной частоты.

### **Литература**

1. **Кобениченко В. Г.** Расчет и проектирование цифровых фильтров: [учеб.-метод. пособие]. В. Г. Кобениченко. — Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та. 2015. — 64 с
2. **Бабочкин М. А., Колосов О. С., Кузнецова А. А., Парфенова О. И.** Алгоритмы фильтрации нижних и верхних частот реального времени в задачах управления // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сб. тр. XXVIII Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2019 г., Алушта. — М.: НИЯУ МИФИ. 2019. С. 71.
3. **Бабочкин М. А., Колосов О. С.** Применение формирующих фильтров для ослабления высокочастотных помех и преобразования модулированных сигналов // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сб. тр. XXIX Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2020 г. Алушта. — СПб.: ГУАП, 2020. — С. 40.

*О. С. Медникова, асп.; Д. Н. Анисимов, д.т.н., доцент (НИУ МЭИ)»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ**

Метод модулирующих функций (ММФ) изначально разработан для идентификации стационарных динамических объектов на основе записей входных и выходных сигналов. В [1] показана принципиальная возможность идентификации нестационарных объектов ММФ.

В данном исследовании рассматривается ряд апериодических звеньев второго порядка, у которых изменяется одна из постоянных времени либо коэффициент усиления по линейному либо гармоническому закону.

Процесс идентификации организован следующим образом: интервал наблюдения разбивается на пересекающие равномерно сдвинутые относительно начала эксперимента участки, на которых объект рассматривается как стационарный, проводится идентификация ММФ на этих участках. Анализ полученных результатов показывает следующее:

- 1) такой подход позволяет определить вид закона изменения нестационарных параметров,
- 2) полученная оценка смещена относительно истинных значений параметров.

Смещение оценок связывается с самой идеей аппроксимировать нестационарные параметры константами. Для уменьшения смещения предложено увеличить число интервалов идентификации, что уменьшит их сдвиг относительно друг друга. Однако, это ведёт к увеличению вычислительной сложности процедуры идентификации.

Снизить объём вычислений позволяет использование рекуррентных процедур. В исследовании предложено применять взвешенный рекуррентный метод наименьших квадратов для получения оценок параметров на каждом шаге идентификации и выведены необходимые математические соотношения.

### **Литература**

1. Анисимов Д. Н., Медникова О. С., Василькова П. Д. // О возможности использования метода модулирующих функций для идентификации нестационарных динамических объектов / Материалы XX Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 13–14 февраля 2020 г.). — Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации» — С. 1324–1333.

*П. В. Трунов, студ.; рук. А. Б. Гавриленко (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ В РОБОТИЗИРОВАННОМ УЧАСТКЕ ПЕРЕСЧЁТА НАЛИЧНОСТИ**

В данном докладе раскрывается идея применения системы технического зрения для пересчёта наличности, а также описывается её реализация. Описываемая система технического зрения является модификацией проекта “Роботизированный участок пересчёта” (РУП), который на данный момент функционирует в двенадцати городах России. До определённого момента сфера пересчёта наличности в промышленных масштабах зависела от внимательности человека. Для сведения его участия к минимуму был разработан проект РУП. Теперь роль человека состоит только в загрузке банкнот и устранении ошибок роботизированной системы, которые могут являться причиной выпадения банкнот из пачки и их дальнейшего смятия.

Для помощи оператору, который взаимодействует с роботизированным участком, в устранении вышеописанной проблемы было решено применить техническое зрение, которое сразу оповестит его о произошедшем, фиксируя выпадение купюры, что, в свою очередь, сэкономит человеческое время. После проведения тестов были выявлены участки, на которых затруднительно обнаружить выпадение банкнот. Соответственно, на них устанавливаются камеры.

В данной работе рассматривается случай, когда камера установлена над отсеком для бракованных купюр. Алгоритм осуществляет слежение за тем, чтобы купюры не выпадали из зоны бракованной наличности. На изображении, полученном с камеры, выделяется часть, которая будет обработана алгоритмом, после чего она переводится в бинарный вид. Далее с помощью метода нахождения углов Ши-Томаси [1] детектируются выпавшие купюры, и посылается сигнал на управляющий компьютер. Для того, чтобы не нагружать основной компьютер комплекса РУП, было решено реализовать описываемую систему в виде отдельного модуля на одноплатном компьютере ODROID, а общение между ними осуществить по SSH. После подбора оборудования и отладки алгоритма поведения, система технического зрения была установлена на комплекс.

Таким образом, применение описанной системы технического зрения способствует существенному уменьшению суммарного времени исправления ошибок оператором.

### **Литература**

1. **Jianbo Shi and Carlo Tomasi.** Good features to track. In Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94, 1994 IEEE Computer Society Conference on, pages 593–600. IEEE, 1994.

*Н. А. Назаров, студ.; рук. В. О. Толчеев д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПО ВЫБОРУ ПРОФИЛЬНЫХ НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ**

В современном мире часто образуются огромные скопления информации, из которых человеку сложно найти то, что его интересует, в этой работе будет рассмотрено одно из решений данной проблемы — рекомендательные системы. Рекомендательные системы (РекС) используются для того, чтобы предоставить в структурированной форме индивидуальные рекомендации, способные помочь в принятии решений.

В последнее время активно развивается отдельное направление по разработке научных рекомендательных систем (НРекС), которые обладают собственной спецификой и отличаются от традиционных РекС. Системы подобного плана предназначены для ученых, преподавателей, аспирантов, студентов и прочих заинтересованных лиц. Основная задача НРекС — предсказать информационную потребность пользователя, где источником данных может являться сам профиль пользователя, его действия над объектами и его поисковые запросы. На основе собранных данных формируется индивидуальный набор рекомендаций, который должен отражать текущую потребность пользователя [2].

В данной работе была разработана система, которая на основе предпочтений преподавателей кафедры управления и интеллектуальных технологий НИУ «МЭИ» предоставляет информацию о предстоящих научных профильных конференциях.

Первоначально в работе составляются терминологические профили преподавателей. Профиль включает преимущественно высокочастотные слова, которые встречаются в названиях, ключевых словах и аннотациях, содержащихся в публикациях преподавателя в научной электронной библиотеке eLibrary.

Далее применяется контентно-ориентированная процедура выдачи рекомендаций сотрудникам кафедры по выбору научных конференций по тематикам «Анализ данных» и «Теория автоматического управления». Тестирование проводилось на множестве научных конференций, имеющих в свободном доступе на сайте «[www.science-community.org](http://www.science-community.org)». К этим конференциям была применена разработанная процедура и проведен анализ результатов для конференций, имеющих максимальные показатели схожести (по косинусной мере [1]) с профилями пользователей.

### **Литература**

1. **Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2014. — 528 с.
2. **Ricci F, Rokach L., Shapira B., Kantor P. B.** Recommender Systems Handbook. Springer US, 2011. 842 p.

*Е. О. Успенская, студ.; рук. Ш. А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

В настоящее время в социальных сетях содержатся большие объемы негативного контента, отрицательно влияющего на людей. В связи с этим разрабатываются все больше инструментов анализа текста, способных «извлечь» тональность высказываний автоматически. Машинное обучение с учителем является наиболее эффективным методом, используемым в исследованиях. Для его реализации требуется обучить машинный классификатор на наборе размеченных текстов, а после применять полученную модель для анализа новых документов. При этом необходимо провести предварительную обработку данных, включающую в себя токенизацию, лемматизацию слов и удаление шума, а также определить наиболее часто встречающиеся признаки в текстах [1].

Целью данного исследования является разработка алгоритма классификации тональности текстов на русском языке, предполагающего разделение выборки сообщений на два класса: «позитивные» и «негативные».

В представленной статье описан метод анализа тональности текста на основе машинного обучения. Разработана программа на языке программирования Python, выполняющая sentiment-анализ текстов на русском языке [2]. В качестве анализируемых данных использованы сообщения пользователей социальной сети Twitter (при помощи интерфейсов Twitter-API).

Перспективой использования данного алгоритма является создание системы отсева негативного пользовательского контента, которую можно применить в решении проблемы распространения негативной информации в сети Интернет.

### **Литература**

1. **Большакова Е. И.** Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие / Большакова Е. И., Клышинский Э. С., Ландэ Д. В., Носков А. А., Пескова О. В., Ягунова Е. В. — М.: МИЭМ, 2011. — 272 с.
2. **А. Мюллер** Введение в машинное обучение с помощью Python / А. Мюллер, С. Гвидо. — 2017. — 393 с.



*А. И. Бакаев, студ.; рук. Г. А. Фомин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ ПО КОГНИТИВНЫМ МОДЕЛЯМ, СОДЕРЖАЩИМ ФАКТОРЫ С КАЧЕСТВЕННЫМИ ШКАЛАМИ**

Одним из новых направлений современной теории поддержки принятия решений является когнитивное моделирование систем управления [1]. По когнитивным моделям могут быть сформированы имитационные данные. Эти данные могут применяться для проверки качества модели, а также для замены данных наблюдений, если они не могут быть получены.

Для формирования имитационных данных требуется наличие когнитивной модели. Для количественных факторов потребуются также знание диапазона их возможных значений, а для порядковых и номинальных — знание количества рангов или номиналов и вероятности их появлений [2]. Предполагается, что эксперт обладает этой информацией. Также предполагается, что в когнитивной модели нет контуров и что в основе качественных факторов лежат латентные количественные факторы.

На первом этапе решения задачи выполняется операция превращения всех факторов в количественные и их нормировка. Следующий этап — задание случайных значений начальных факторов. Все факторы рассматриваются в порядке их вхождения в когнитивную модель. Значения факторов определяются по регрессионным уравнениям с добавлением случайной величины.

Оценки регрессионных параметров вычисляются методом наименьших квадратов. При этом элементы корреляционной матрицы задаются на основе когнитивной модели.

Процесс заканчивается после определения значений всех факторов. Вектор из значений факторов на последнем этапе заносится в таблицу имитационных данных. Эти действия повторяются, пока не будет получен требуемый объем данных.

Было проведено тестирование данного алгоритма на когнитивной модели, описывающей выполнение научных исследований в вузах России. Были получены имитационные данные и по ним вновь оценена когнитивная модель. Полученная модель практически полностью совпадала с исходной, что означает корректность предложенного метода.

### **Литература**

1. **Трахтенгерц Э. А.** Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998.
2. **М. М. Полотнов, Г. А. Фомин.** Методы построения и использования когнитивных моделей объектов принятия решений: М.: Изд-во МЭИ, 2012.

*М. С. Петренко, студ.; рук. В. О. Толчеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ КЛАССИФИКАЦИИ НОВОСТНЫХ СООБЩЕНИЙ**

В век информационных технологий поступает большой объем информации, которую нужно сортировать и классифицировать. С увеличением документального потока становится сложнее анализировать и сортировать текстовые данные вручную, поэтому необходимо создать механизм, который позволит решить эту задачу в автоматическом режиме. Для этого необходимо преобразовать неструктурированные тексты в структурированный текстовый массив, и с помощью специализированных средств извлекать из больших объемов информации необходимую информацию.

Основные элементы анализа текстовых данных — это классификация и кластеризация. В данной работе рассматривается задача классификации новостных сообщений. Задача классификации — это классическая задача распознавания, где, по некоторой обучающей выборке строится классификатор, способный распределять по классам новые документы, не входившие в обучающий набор.

Исследования проводились на коллекции новостных документов «The 20 newsgroups», в которой содержатся 20 различных тем. Тексты представлены на английском языке в разговорно-публицистическом стиле.

При проведении исследований текстовые документы преобразуются в многомерный вектор, состоящий из весов слов. Применяются процедуры предварительной обработки данных: удаление стоп-слов, стемминг и взвешивание терминов. Анализ точности классификаторов осуществляется с помощью вычисления ошибки, полноты и точности [1].

В экспериментальных исследованиях использовались различные методы классификации: метод ближайшего соседа, метод  $k$ -ближайших соседей, взвешенный метод  $k$ -ближайших соседей, наивный байесовский метод и «случайный лес». По обучающей выборке настроены параметры этих классификаторов.

Проведен сравнительный анализ классификаторов по значениям ошибки. Изучено влияние количества классов, сбалансированности и объема обучающей выборки на значение ошибки, полноты и точности. Полученные результаты на коллекции «The 20 newsgroups» сопоставлены с результатами других исследователей [2].

### **Литература**

1. **Маннинг К. Д., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. — М.: Вильямс, 2014.
2. **Manuel Fernandez-Delgado, Eva Cernadas, Senen Barro.** Do we Need Hundreds of Classifiers to Solve Real World Classification Problems? // Journal of Machine Learning Research. 2014. V. 15. P. 3133–3181.

*Я. В. Родионова, студ.; рук. В. М. Беседин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ В 2-Х КОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО КРИТЕРИЯ**

Основная характеристика любой антенны — это диаграмма направленности. Использование узких диаграмм направленности, позволяет обеспечивать требуемую достоверность передачи информации при малых мощностях передающих устройств [1].

Ограниченные возможности повышения точности в одноканальных системах обуславливают целесообразность применения многоканальных САУ, работающих по принципу грубого и точного отсчетов [2].

В качестве критерия эффективности поиска рассматривается информационный критерий, который определяется разницей энтропий до и после поиска на каждом этапе соответственно.

Стратегия поиска — правило, устанавливающее выбор просматриваемых ячеек. Существует множество способов просмотра области поиска предполагаемого местоположения объекта, одним из таких является равномерный поиск (Р), который подразумевает равномерное сканирование всей области поиска, т.е. общее время поиска делится поровну между всеми ячейками области. Также к стратегиям поиска можно отнести оптимальный в классе равномерных (ОКР) и оптимальный (О). Первый, в своем случае, аналогичен равномерному, но ведется просмотр только части области, при втором, определяются значения поисковых усилий, максимизирующих полную вероятность обнаружения. [3]

На примере одностороннего поиска в двухконтурной системе были реализованы алгоритмы: Р-Р, ОКР-ОКР, О-О в случаях деления поискового ресурса пополам и оптимально. Программа была написана на кроссплатформенном фреймворке Qt на языке C++. На основе полученных данных были построены графики зависимости информационного критерия от общего объема поисковых усилий для каждого из алгоритмов, которые продемонстрировали превосходство оптимального поиска в сравнении с другими стратегиями поиска в двухконтурной системее.

### **Литература**

1. **Афонин А. А., Никитин В. Н., Никитин Н. В., Шацкий А. В., Чемоданов В. Б.** Автоматические устройства и системы для наведения лазерных пучков // М.: Физматлит, 2015.
2. **Чернявский Г. М., Чернов А. А.** Лазерные системы в космосе (информационная технология) // М.: Радио и связь, 1995.
3. **Головинский О. Б., Лавинский Г. В.** Поисковые системы // Киев: Техника, 1979.

*Н. А. Капустин, студ.; рук. М. Ю. Косинский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Система стабилизации и ориентации (ССО) космического аппарата (КА) является одной из важных компонент его бортовой системы управления. ССО обеспечивает управление движением КА вокруг центра масс [1].

Основные принципы построения и реализации ССО КА зависят от массово-инерционных характеристик конструкции КА, а также от характеристик применяемых измерительных и исполнительных органов.

В зависимости от целевой задачи КА, могут различаться требования по точности его стабилизации. При этом необходимо учитывать также влияние упругих характеристик конструкции КА и различных возмущений, чтобы выполнять технические требования к системе управления.

Достаточно хорошо себя зарекомендовали ССО, основанные на применении ПИД-регулятора в контуре стабилизации.

В качестве основного исполнительного органа ССО используется комплекс управляющих двигателей-маховиков. В тоже время нелинейность их характеристик в окрестности как нулевых, так и высоких оборотов может ухудшать показатели точности ССО.

Однако с развитием новых подходов к решению задач управления, основанных на применении математических аппаратов нечёткой логики, и появлением всё большего числа примеров их успешного применения [2] представляется перспективным исследование возможности их использования для управления стабилизацией и ориентацией КА.

В процессе исследования рассмотрено применение различных алгоритмов нечёткого логического вывода для решения задач стабилизации и ориентации КА, проанализировано качество работы полученных ССО, а также проведено сравнение с системой, основанной на использовании ПИД-регулятора.

### **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. **Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.** Нечеткие модели и сети. — 2-е изд., стереотип. — М.: Горячая линия–Телеком, 2016. — 284 с.

*А. А. Глинский, студ.; рук. М. Ю. Косинский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Бортовая система управления космическим аппаратом (БСУ КА) является одной из важнейших его компонент. Именно БСУ КА отвечает за управление полетом, поддержание требуемой ориентации, выполнение целевых задач [1].

Современные БСУ представляют собой многокомпонентную систему. Учитывая сложные условия эксплуатации КА и важность выполняемых ими задач, необходимо осуществлять постоянный контроль их функционирования и своевременно реагировать на возникающие нештатные ситуации.

В настоящее время данные задачи реализуются как непосредственно БСУ, так и средствами центра управления полётом (ЦУП). Ввиду ограниченности вычислительных ресурсов, БСУ не может обеспечить полный спектр контроля своего функционирования. С другой стороны, для осуществления контроля в ЦУП оператору требуется обрабатывать значительный объём информации, что может приводить к пропуску отдельных событий, произошедших на борту КА и задержкам в принятии решений.

В связи с этим, для упрощения работы оператора предлагается автоматизировать процедуру анализа поступающей в ЦУП информации о функционировании БСУ КА.

Перспективным способом решения указанной задачи представляется использование искусственных нейронных сетей (ИНС), обучаемых на примере решений, сделанных оператором ранее. К настоящему времени, ИНС хорошо зарекомендовали себя в решении практических задач как универсальные классификаторы и аппроксиматоры [2].

Как итог, использование нейронных сетей позволит автоматически выявлять и классифицировать сбои и аномалий в работе БСУ и, как следствие, повысить надёжность всего КА.

### **Литература**

1. **Бровкин А. Г., Бурдыгов Б. Г., Гордийко С. В. и др. Под редакцией А. С. Сырова** Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.
2. **Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю.** Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. 2001

*Т. С. Котова, студ.; рук. В. Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В ПАКЕТАХ MATLAB И SIMINTECH**

Алгоритмы с нечеткой логикой достаточно давно [1] находят широкое применение в современных системах управления технических объектами. Многочисленные варианты построения нечетких систем различаются не только особенностями реализации этапов нечеткого логического вывода, но и схемными решениями. С целью упорядочения накопленного опыта в [2] было предложено различать нечеткие логические регуляторы (НЛР) 1-го и 2-го рода [3]. В ПИ-, ПД- и ПИД-регуляторах 1-го рода используются параллельно включенные одномерные нечеткие вычислители, сигналы с выходов которых складываются. В регуляторах 2-го рода используется один многомерный нечеткий вычислитель.

Несмотря на многолетнюю историю прикладных применений, подходы по настройке НЛР носят, в основном, эвристический характер, что обусловлено малой изученностью такого вида регуляторов. Поэтому достаточно важной представляется задача комплексного исследования, позволяющего выявить основные закономерности функционирования при изменении настроек НЛР. Это с неизбежностью требует интеграции инструментов нечёткого логического вывода и средств моделирования систем управления. Целесообразно воспользоваться универсальными пакетами имитационного моделирования, такими как MATLAB/Simulink и SimInTech. В этих пакетах реализованы некоторые механизмы нечёткого логического вывода, однако необходимо убедиться, что они достаточны для реализации НЛР.

Представлены результаты разработки и моделирования системы управления на основе нечеткого ПД-регулятора 1-го рода [4] в указанных выше пакетах. Проведен анализ статических характеристик НЛР и показателей качества системы управления при изменении функций принадлежности термов входных и выходных лингвистических переменных. Предложены рекомендации по расширению функционала пакетов в части реализации нечётких законов управления.

### **Литература**

1. **Zadeh L. A.** Fuzzy Sets // Information and Control. 1965, Vol. 8. — pp. 338–353.
2. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. **Макарова И. М., Лохина В. М.** — М.: Физматлит, 2001.
3. **Анисимов Д. Н.** Использование нечеткой логики в системах автоматического управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001, № 8 — с. 39–42.
4. **Котова Т. С., Фёдорова Е. В., Анисимов Д. Н.** Показатели качества системы управления, основанной на нечетком логическом регуляторе первого рода // Сб. тр. XXIX междунар. науч.-техн. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии». СПб.: ГУАП, 2020. с. 76.

*С. А. Филатов, студ.; рук. А. А. Бородкин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Понимание возможностей искусственного интеллекта и нейронных сетей привело к стремительному развитию соответствующей научной области и технологий, использующих их [1]. Совместное использование искусственных нейронных сетей и методов извлечения информации из цифрового звукового сигнала позволяет распознавать и синтезировать речь для различных прикладных задач: управление и контроль бытовой техникой, ЭВМ и промышленными объектами, голосовой ввод текста, распознавание диктора, создание голосовых помощников или систем оповещения [2].

Данная работа посвящена разработке системы управления голосовыми командами. Внедрение таких систем может ускорить взаимодействие человека и объекта управления, исключить касания и механическое воздействие на объект управления путём дистанционной передачи управляющих команд. Одним из требований к разрабатываемой системе является её простота и работа в офлайн режиме с возможностью распознавать небольшой набор голосовых команд.

В работе формируются выборки фонем и голосовых команд с помощью разработанного программного модуля, проводится исследование и сравнение двух типов искусственных нейронных сетей (многослойный перцептрон и свёрточная нейронная сеть) по эффективности решения задачи распознавания голосовых команд. Также исследуется влияние гиперпараметров искусственных нейронных сетей и метода преобразования дискретного звукового сигнала в набор мел-частотных кепстральных коэффициентов на ошибку распознавания.

Итогами работы являются заключение об эффективности использования фонем в качестве структурной единицы распознавания, выбор типа искусственной нейронной сети и нахождение её оптимальных гиперпараметров.

Разработанная система распознавания способна различать порядка 50 команд с точностью до 90%, не требуя подключения к сети интернет и большого объёма памяти, что позволяет использовать её не только, например, на персональном компьютере, но и на портативных устройствах.

### **Литература**

1. **Haykin S.** Neural Networks and Learning Machines, 3rd Edition. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2009.
2. **Huang X.** Spoken Language Processing: A guide to theory, algorithm, and system development. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2001.

*Ю. П. Гаврилин, студ.; рук. П. Е. Ганин (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В СРЕДЕ FLUIDSIM**

Моделирование технологических процессов позволяет протестировать автоматизированную систему и обнаружить возможные ошибки. Анализ технологического процесса в средах моделирования проводится с целью повышения эффективности работы (производительности) и снижения рисков возникновения неполадок на производстве. Программное обеспечение FluidSim [1] является одним из современных инструментов моделирования технологических процессов с использованием электрических и пневматических компонентов. Инструментарий FluidSim также позволяет организовать соединение модели с внешними управляющими устройствами, в том числе с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) [2].

В работе рассматриваются модели систем управления с заданным технологическим процессом сборки пневматических распределителей в среде FluidSim. Рассмотрены схемы управления на основе релейно-контактной логики, при помощи цифровой техники и с помощью ПЛК Siemens S7-300. По результатам моделирования сделаны выводы о достоинствах и недостатках каждой схемы управления. Отмечается, что управление на основе релейно-контактной логики и при помощи цифровой техники дешевле в реализации и обслуживании в сравнении со схемой с ПЛК. Также схема с релейно-контактным управлением нагляднее и проще для восприятия, однако, управление с помощью ПЛК дороже в реализации и ремонте, но это компенсируется быстротой написания и легкостью отладки программы управления.

В данной работе представлено несколько видов схем управления, что позволяет увидеть различия в их реализации и выбрать оптимальную для конкретного технологического процесса (производства).

### **Литература**

1. **Sendrescu D., Roman M., D. Selisteanu.** Interactive teaching system for simulation and control of electropneumatic and electrohydraulic systems 2013 24th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE 2013), Chania, 2013, pp. 151–156, doi: 10.1109/EAEEIE.2013.6576519.
2. «**Бергер Г.** Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400»



*Д. И. Жилинский, студ.; рук. В. Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ДАНЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК НА УСТРОЙСТВО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

Современного человека на сегодняшний день окружает множество устройств, осуществляющих свою работу через Интернет, которые в широком смысле принято называть Интернетом Вещей (Internet of Things — IoT). Огромное количество пользовательских устройств Интернета Вещей слабо или вовсе не защищены, что является главной причиной частых и эффективных атак со стороны злоумышленников. Чаще всего данная проблема связана с производителем, который при разработке устройства пренебрег основными концепциями информационной безопасности, а также из-за малой осведомленности базового пользователя об эксплуатируемом им устройстве.

Основная цель работы заключается в разработке системы сбора и подготовки данных, с помощью которых предполагается обучение встроенного детектора компьютерных атак на устройство Интернета Вещей и выявления аномалий в его работе. Наличие таких детекторов, а также устройств по анализу сигналов от них позволит снизить масштаб DDoS-атак, организуемых с помощью захваченных в ботнет устройств Интернета Вещей [1].

Ранее был разработан макет типового устройства Интернета Вещей, предназначенный для отработки на нем наиболее распространенных сетевых атак [2]. В настоящей работе данный макет был усовершенствован с целью сбора информации о сетевом трафике для обучения интеллектуальных алгоритмов обнаружения атак и их применения. В частности, планируется разработать программный модуль для реализации метода, представленного в [3], что позволит обнаруживать аномалии, вызванные эксплуатацией хакерами уязвимостей в прошивке устройства.

### **Литература**

1. **Vladimir Eliseev, Anastasia Gurina** Agent-whistleblower Technology for Secure Internet of Things // Journal of Science and Technology on Information security, — 2018. — Vol. 7, № 1, pp. 22–28.
2. **Жилинский Д. И., Елисеев В. Л.** Разработка типового устройства Интернета Вещей для изучения компьютерных атак и методов защиты от них // Сб. тр. XXIX междунар. науч.-техн. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии». СПб.: ГУАП, 2020. с. 161.
3. **Gurina A., Eliseev V.** Anomaly-based method for detecting multiple classes of network attacks // INFORMATION. — 2019. — Vol. 10, no. 3. — P. 84. doi: 10.3390/info10030084.

*С. В. Колпинский, студ.; рук. В. Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ СЕТЕВЫХ АТАК НА АСУ ТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ**

В связи с ростом числа сложных и комплексных атак на промышленные системы [1] остро ощущается потребность в их надлежащей защите. Сети АСУ ТП подвержены компьютерным атакам из-за устаревшей архитектуры, не содержащей встроенных средств защиты, а также вследствие подключения прямо или опосредованно к сети Интернет. Особенность таких систем заключается в простых и, в основном, циклических сценариях работы, которые позволяют рассчитывать на применение методов интеллектуального анализа данных и машинного обучения для обнаружения сетевых атак.

Характерной чертой методов интеллектуального анализа данных является необходимость их предварительной обработки, что связано как с их оцифровкой и формализацией, так и с понижением размерности за счёт отбрасывания неинформативных частей. Применительно к задаче обнаружения сетевых атак принята модель, получающая на вход последовательности событий, представляющих сетевой трафик, а на выходе выдающая, является ли данное событие или цепочка событий сетевой атакой.

Предлагается подход к использованию моделей машинного обучения для обнаружения сетевых атак, основанный на анализе аномалий: сетевая атака рассматривается как аномалия — отклонение от модели нормы, построенной на основе примеров данных, описывающих штатную работу системы. Для построения модели нормы для конкретной системы требуется период наблюдения, достаточный для отработки всех обычных режимов работы и актов сетевого взаимодействия элементов сети. При обучении модели она «запоминает» нормальное поведение системы, а при подаче на вход трафика, содержащего атаки, он будет выявляться как аномальный, поскольку атаки не фигурировали в обучающих данных и являются необычными для модели.

Данные в сетях АСУ ТП, в силу особенностей промышленных протоколов, ограничены в своей вариативности и аномальный трафик в этом случае хорошо выделяется на фоне нормального. Поэтому становится возможным построение достаточно эффективной модели нормального функционирования системы и выявление с её помощью компьютерных атак, включая ранее неизвестные, а также обнаружение нештатных ситуаций, связанных с заметным изменением сетевого трафика.

### **Литература**

1. Майнеры, шпионы и самораспространяющиеся зловреды: «Лаборатория Касперского» выяснила, с какими угрозами чаще всего сталкивается энергетический сектор [Электронный ресурс]. URL: <https://bit.ly/33usysV> (дата обращения 01.11.2020).

*Е. А. Милюкова, студ.; рук. В. Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБФУСКАЦИИ**

Рассматривается задача построения системы доверенных облачных вычислений с использованием нейросетевой обфускации и обработки зашифрованных данных без их расшифрования [1]. В этой системе объектом защиты выступают не только обрабатываемые данные, но и обрабатывающий их алгоритм. Работа системы предполагает передачу вычислительного алгоритма и данных, с которыми он работает, в облачный вычислительный агент. Для защиты данных возможно применение различных методов шифрования, однако для защиты алгоритма необходимо разработать способ его представления, удобный для обфускации, а также программную систему для нейросетевой обфускации, основанную на подходах, описанных в [2].

В работе проводится анализ требуемых свойств унифицированного способа представления вычислительных алгоритмов в виде функциональных блоков с целью их дальнейшей нейросетевой обфускации. Способ должен обеспечивать замену вычисления значений функций в явном виде на вычисление значений функций их нейросетевыми аналогами. После такой замены структура алгоритма сохраняется в исходном виде, но данные обрабатываются с помощью нейронных сетей, что позволяет скрыть суть вычислений, а также позволяет обрабатывать зашифрованные данные.

Такой подход позволяет обрабатывать данные в недоверенной среде облачного агента, так как алгоритм обработки защищен обфускацией, а данные — шифрованием.

Представлено описание способа представления вычислительных алгоритмов и разработанной программной системы, реализующей данный способ, а также приведен пример реализации вычислительного алгоритма без циклов и его нейросетевая обфускация. В дальнейшем предполагается тестирование разработанного способа на алгоритмах с циклами, а также реализация других элементов системы доверенных облачных вычислений.

### **Литература**

1. **Е. А. Милюкова, В. Л. Елисеев**, Проектирование системы доверенных облачных вычислений с использованием нейросетевой обфускации // Сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», Алуста, 14–20 сентября 2020, с. 166–167.
2. **С. В. Колпинский, Е. А. Милюкова, В. Л. Елисеев**, Нейросетевая обфускация алгоритма банковского скоринга // Сборник материалов XXV Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии — 2019», Нижний Новгород, 19 апреля 2019, с. 725–732.

*Д. А. Каленькин, студ.; А. А. Горынин, нач. группы;  
рук. М. Ю. Косинский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»,  
ФГУП МОКБ «Марс», г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТРАЕКТОРИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УЧЁТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ**

С повышением уровня автономности летательных аппаратов (ЛА) и усложнением решаемых ими задач, проблема определения наилучшей траектории становится всё более актуальной.

При этом в качестве критериев могут выступать как отдельные показатели (наименьшее время полёта, максимальная дальность и др.), так и их сочетание. Также при расчёте необходимо учитывать ограничения, накладываемые характеристиками ЛА, условиями внешней среды и спецификой целевой задачи [1].

В настоящее время методы оптимизации имеют хорошую теоретическую базу [2], но их непосредственное применение на практике в условиях варьирования параметров может оказаться достаточно трудоёмкой задачей, что обуславливает необходимость автоматизации данной процедуры в виде программного комплекса.

Предлагаемый комплекс включает в себя:

- a. Графический интерфейс, позволяющий как задавать критерий оптимизации, параметры ЛА и ограничения, накладываемые целевой задачей, так и выбирать различные методы решения задачи;
- b. Модуль, включающий различные алгоритмы оптимизации параметров траектории по заданным исходным данным.

В результате получен инструмент, с помощью которого решается задача оптимизации пространственных траекторий, учитывающий исходные данные и заданные ограничения. Комплекс позволяет рассчитать параметры (тангаж, крен, курс, высота, тяга двигателя), определяющие наилучшую траекторию для каждого момента полёта для заданных исходных данных

Проверка комплекса контрольными примерами подтвердила правильность его работы.

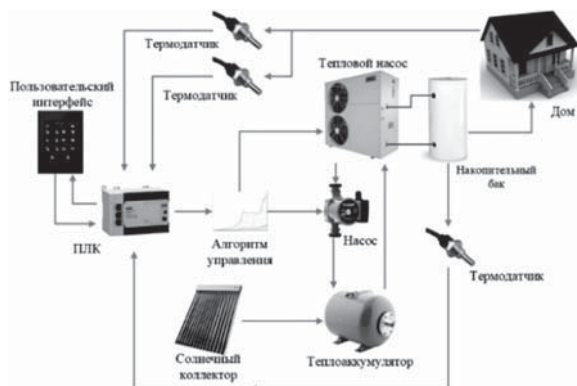
### **Литература**

1. **Лебедев А. А., Чернобровкин Л. С.** Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, переработанное и доп. М., «Машиностроение», 1973, 616 с.
2. **Аоки М.** Введение в методы оптимизации. Перев. с англ., Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1977, 344 стр.

*А. А. Новиков, Н. И. Гребенщиков, аспиранты;  
рук. Д. В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМ ЭНЕРГИЮ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА–ЛЁД**

Сегодня, для управления теплогенерирующими установками на базе тепловых насосов можно выделить множество алгоритмов управления [1, 2], предложенная функционально-технологическая схема представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Функционально-технологическая схема управления тепловым насосом

Основной особенностью данной системы является то, что ПЛК одновременно управляет мощностью теплового насоса, циркулирующего насоса, и механизмом удаления льда, также фиксирует показания термодатчиков в теплоаккумуляторе, накопительном баке и в помещении. Также происходит расчёт теоретической толщины образовавшегося льда на стенке теплообменника теплоаккумулятора и удаляет его, при достижении критической толщины. Солнечные коллекторы подпитывают теплоаккумулятор, во избежание полного замерзания теплоносителя. В настоящий момент возможно определить момент полного замерзания жидкости без визуального контакта и рассчитать количество отдаваемого тепла при фазовом переходе.

### **Литература**

1. **D. Rolandoa, H. Madania, G. Braidab, R. Tomasetigb, Z. Mohammadic.** Heat pump system control: the potential improvement based on perfect prediction of weather forecast and user occupancy // 12th IEA Heat pump conference. Rotterdam. 2017.
2. **System Theory Models of Different Types of Heat Pumps** — WSEAS Conference in Portoroz. — Slovenia, 2014. — 75 с.

*А. А. Новиков, Н. И. Гребенщиков, аспиранты;  
рук. Д. В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

Системы диспетчеризации и автоматизации могут решать множество технических задач, в том числе и пожаротушения [1]. Контроль и управление АСУ насосной станции осуществляются посредством датчиков емкостного типа, струйных и поплавковых реле, манометров, реле уровня и заливки центробежных насосных агрегатов. Каждое устройство, используемое при подключении системы автоматизации, имеет значение и оказывает влияние на весь алгоритм работы. Разработанная система создана при помощи программного обеспечения TIA Portal [2].

Система пожаротушения состоит из 3 групп насосов, по 3 насоса в каждой группе. Каждый насосный агрегат подключается через преобразователь частоты. Управление насосной группой обеспечивается по аналоговому датчику давления на напорном трубопроводе. Алгоритмом работы контроллера предусматривается регулирование частоты вращения привода насоса в зависимости от параметров давления на выходе по закону ПИД-регулирования. Предполагается как ручное, так и автоматическое управление. При активации сигнализации, сообщающей о пожаре, включаются 2 группы насосов, по 2 насоса в каждой группе, тем самым происходит резервирование как внутри группы, так и группы целиком. При снижении расхода воды насосные насосы ступенчато отключатся. При неисправности любого из основных насосов в работу автоматически вводится резервный насос. Для быстрой подачи воды используются 2 резервуара объемом 500 литров каждый. Система TIA Portal отображает конфигурируемую аварийную и предупредительную сигнализацию. В отличие от аппаратной, для извещения оператора о возникших нештатных ситуациях их необходимо конфигурировать. Данная система позволяет улавливать первые признаки сбоев и переводить насосный агрегат в безопасный аварийный режим. АСУ контролирует блокировку работающей аппаратуры и снижает риски внеплановой остановки, в случае аварии оперативно локализовать пожар, до приезда пожарной бригады, тем самым сократить материальный ущерб до минимума.

### **Литература**

1. **Широков Ю.** SCADA и автоматизация зданий в эпоху IoT // СМА. 2020. Т. 94. № 1.
2. **Siemens.** Руководство по программированию S7-1200/S7-1500. 2015.

*А. В. Чугунова, студ.; рук. Д. В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАНИПУЛЯТОРА ТИПА «ТРИПОД»**

В настоящий момент времени рост производительности промышленных компаний, а также повышение количества и качества выпускаемой продукции представляет собой важную задачу. Организация автоматизированных процессов при производстве может быть достигнута введением вычислительной техники, а также роботов-манипуляторов [1].

Одним из наиболее интересных видов применяемых манипуляторов на производстве являются механизмы с параллельной структурой, а именно с параллельной кинематикой. Аналогичные системы используются во всевозможных сферах: начиная с астрономии и заканчивая сортировкой продукции на предприятии.

Частным случаем такого механизма является манипулятор типа «трипод». Он представляет собой параллельное кинематическое устройство, состоящее из основания, установленного на трех опорах, которые меняя свою длину, меняют положение и угол наклона. Кинематика и динамика таких роботов значительно отличается от кинематики и динамики обычных манипуляторов [2]. Данное различие возникает из-за того, что любая степень подвижности параллельного механизма в отдельности является элементарной разомкнутой системой, при этом они соединены между собой и двигаются как единый механизм. Тут же и возникает сложность управления тягами такого робота, чтобы движение всех степеней подвижности было согласованным.

Поэтому целью текущей работы являлась разработка математической модели манипулятора типа «трипод» [4], а именно расчет кинематики и проверка работоспособности при крайних условиях, расчет динамики и построение соответствующих характеристик для анализа работы «трипода», а также для упрощения данного процесса разработка приложения с графическим интерфейсом по средством среды разработки MATLAB [3].

### **Литература**

1. **А. С. Климчик, Р. И. Гомолицкий, Ф. В. Фурман, К. И. Сёмкин**, «Разработка управляющих программ промышленных роботов». Курс лекций. Минск 2008 г.
2. **А. М. Грибков, Д. В. Шилин** Математическое моделирование манипулятора типа трипод на базе бесштоковых пневматических приводов, ж. «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», № 9, 2011, С. 3–10
3. **Дьяконов В.** MATLAB 6: учебный курс СПб.: Питер, 2001. — 592 с. 5.
4. **Каганов Ю. Т., Карпенко А. П.** Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора, как механизма параллельной кинематики типа «трипод» / Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2009. № 10. С. 4–14.

*А. И. Коротких, студ.; рук. А. С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ФИЛЬМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МАТРИЦЫ ОЦЕНОК**

Прогнозирование оценок пользователей на товары на основе известных оценок других пользователей является достаточно актуальной задачей в различных областях коммерции. В данной статье будет рассматриваться задача прогнозирования оценок пользователей на фильмы.

В качестве исходных данных используется набор данных MovieLens 100k [1], который содержит 100 тысяч отзывов к фильмам. Из выборки были удалены фильмы, на которые дано менее 3 отзывов, что составило примерно 13% от всего числа фильмов.

На основе этих данных строится матрица оценок пользователей  $A$  — разреженная матрица, у которой строки — это пользователи, столбцы — фильмы, а значения матрицы — оценки пользователей для каждого фильма. Размерность матрицы составила [943 x 1474].

Чаще всего для решения подобных задач используют сингулярное разложение (Singular Value Decomposition, SVD) [2, 3]

В работе использовалось сингулярное разложение матрицы  $A$ . Если бы в матрице не было пропусков значений, то предсказанием было бы  $\hat{x} = \langle u_i, v_j \rangle$ , где  $u_i \in U$  — множество пользователей,  $v_j \in V$  — множество фильмов. Однако, поскольку все оценки нам неизвестны, то решается задача численной оптимизации:

$$J(\theta) = \sum (\hat{x} - x)^2 + \lambda (\sum \|u_i\|^2 + \sum \|v_j\|^2) \rightarrow \min \quad (1)$$

Для оценки качества прогноза использовалась метрика RMSE [2]. Среднее значение RMSE по 5 экспериментам составило 0.931.

Недостаток данного подхода заключается в проблеме «холодного старта» для новых пользователей и новых фильмов — какое количество каких оценок пользователь должен поставить, чтобы получить приемлемое качество предсказания. Этой проблеме будут посвящены дальнейшие исследования.

### **Литература**

1. Выборка MovieLens 100k. URL: <https://www.kaggle.com/prajitdatta/movielens-100k-dataset> (дата обращения: 05.11.2020)
2. Рекомендательные системы. // ИТМО — Викиконспекты. URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Рекомендательные\\_системы](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Рекомендательные_системы) (дата обращения: 05.11.2020)



*М. А. Рукавишников, студ.;*  
*рук. П. Е. Ганин (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В последнее десятилетие автоматизация в промышленности развивается стремительными шагами, позволяя экономить время и деньги человека. Автоматизация затрагивает все больше сфер деятельности человека, упрощая его работу. Одним из ярких ее примеров служат промышленные роботы (ПР), также называемые манипуляторами. В настоящее время большое количество современных технологических процессов требуют движения инструмента по заданной траектории сложной формы. Одно из основных требований к ПР — высокая точность позиционирования при малом значении времени затухания колебаний в точке позиционирования [1]. Чтобы ПР выполнил заданную ему задачу четко и корректно, необходимо, чтобы была установлена система, позволяющая компенсировать различные ошибки, возникающие в процессе выполнения работы.

Классическое ПИД регулирование широко используется в промышленных роботах манипуляторах. Оно удобно тем, что есть возможность легко и отдельно регулировать его параметры. Но наличие интегратора в ПИД регулировании уменьшает полосу пропускания замкнутой системы. Чтобы избавиться от этой ошибки, надо увеличить коэффициент усиления интегратора, что приведет к ухудшению переходной производительности, нарушает стабильность.

В ходе данной работы будет сделан вывод о том, выбор какого из рассматриваемых регуляторов является оптимальным при решении задачи позиционирования промышленного многозвонного манипулятора с применением двигателя постоянного тока.

Рассмотрены будут следующие типы регуляторов:

- 1) Классический ПИД регулятор;
- 2) Нечеткий регулятор;
- 3) Нейросетевой регулятор;
- 4) Нейро-нечеткий регулятор.

### **Литература**

1. **Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев А. Н.** Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. Москва. Издательство: Высш. Шк. 1986. 264 с.

*А. К. Бобков, студ.; рук. П. Е. Ганин, (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Многозвенные пространственные механизмы (манипуляторы) находят широкое применение в различных отраслях техники (автомобилестроение, электроника и др.) [1].

В работе рассматривается перспективностью научно-прикладных разработок, связанных с совершенствованием робототехники. В наше время робототехника активно развивающееся направление, которое все больше распространяется и используется в различных аспектах нашей жизни. Промышленные роботы (ПР) используются, как при потоковом производстве различных товаров, так и в космической сфере для сбора разного вида ископаемых. Так же существуют роботы, которые выполняют или копируют деятельность человека, например, играют на музыкальных инструментах, в футбол или убираются в доме. При создании и управлении ПР необходимо решать прямую и обратную задачи кинематики для определения положения рабочего органа при заданных углах и наоборот. Прямая задача имеет достаточно тривиальное решение, в то время как умение решать обратную задачу кинематики является чрезвычайно важным для управления манипулятором, но, как правило, при решении сталкивается с рядом ограничений, которые необходимо учитывать [2].

В ходе данной работы будет проведен анализ различных методов решения обратной задачи кинематики и выявлен наиболее оптимальный из всех. Рассматриваемые методы решения обратной задачи кинематики:

- 1) Метод Ньютона;
- 2) Метод градиентного спуска;
- 3) Нейросетевой метод;
- 4) Метод FABRIC.

### **Литература**

1. **Егоров И. В.** Математические методы и алгоритмы управления кинематически избыточными манипуляторами на основе нейронных сетей Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Саратовский государственный технический университет, 2008.
2. **Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.** Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.

*А. Д. Михайлов, студ.; рук. А. С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ MAPREDUCE**

Стремительный рост объемов данных приводит к неспособности их обработки стандартными методами на обычных компьютерах, что приводит к необходимости использования специальных подходов, позволяющих работать с большими объемами данных.

Целью работы является изучение и реализация алгоритма классификации данных «Деревья решений» [1] на основе модели распределенных вычислений MapReduce [2] и применение разработанного алгоритма для классификации текстовых сообщений.

Модель распределенных вычислений MapReduce является одной из технологий работы с большими данными (Big Data) с использованием большого количества вычислительных узлов (нод), при условии, что на каждой ноде может храниться только часть всех данных [2].

Построение дерева решений с использованием MapReduce выглядит следующим образом. Для построения узла дерева, на Map-шаге для каждого из возможных решающих правил на каждой ноде рассчитывается количество объектов выборки, попадающих в левую и правую ветви в виде пары «ключ–значение».

На Reduce-шаге проводится суммирование значений по ключам со всех нод и рассчитывается критерий Джини [1]. После проведения расчета критерия Джини для всех решающих правил, выбирается лучшее правило, и алгоритм переходит к построению следующего узла дерева.

Для проверки работы алгоритма была использована стандартная выборка текстовых документов 20NewsGroups библиотеки sklearn, из которой было выбрано 5 классов (4039 документов). На тестовой выборке получились следующие показатели качества: Precision = 0.61, Recall = 0.69.

Также, было проведено сравнение работы алгоритма со стандартной реализацией алгоритма «Деревья решений» библиотеки sklearn. На тех же классах качество стандартного алгоритма составило Precision = 0.71, Recall = 0.68. Небольшая разница может быть следствием настройки гиперпараметров деревьев решений в конкретной реализации, что будет являться направлением дальнейших исследований.

### **Литература**

1. **Lior Rokach et al.** Data mining with decision trees. Theory and applications. World scientific, 2015, p. 305
2. **Jeffrey Dean et al.** MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. OSDI'04: Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation, San Francisco, CA (2004), pp. 137–150

*М. А. Гончарова, студ.; И. И. Сингизин, асп.; Н. С. Попов, асп.;  
рук. М. Е. Вильбергер, к.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА**

Работа направлена на разработку интегрированной системы видеонаблюдения для технологических объектов топливно-энергетического комплекса. Информатизация процесса позволяет значительно увеличить надежность, обеспечить непрерывность осуществляемого контроля, значительно расширив масштабы мониторинга с уменьшением использования человеческих ресурсов.

Системы видеонаблюдения, интегрированные в большую часть отраслей промышленности, зачастую используются только в качестве распределенного наблюдательного средства, требующего обязательного и непрерывного участия оператора. Эта особенность обусловлена ограниченностью функционала аналогового видеонаблюдения [1].

Применение цифровых систем и развитие вычислительной техники, позволяют охранным системам выполнять качественно новые задачи. В основе современного подхода лежит анализ последовательности изображений и автоматизированное извлечение данных, на основании которых можно делать выводы о поведении и актуальном состоянии объектов наблюдения.

Каждый ключевой кадр сравнивается с эталонной моделью фона, обнаруженная разность между кадрами обрабатывается пороговым фильтром. Таким образом получаем бинарное изображение, которое является маской объекта, по которой вычислялся барицентр формы.

Имея координаты объекта на изображении с камеры, можем рассчитать положение объекта в пространстве, а также направление и скорость движения [2].

Проведено имитационное моделирование путем подмены видеопотока, результаты которого доказывают работоспособность системы в связке с существующей SCADA-системой. В перспективе планируется описание и формализация большего числа сценариев.

### **Литература**

1. **Вавилов В. П., Климов А. Г.** Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002. — 290с.
2. **Howse J.** OpenCV Computer Vision with Python (Birmingham: Packt Publishing) 2013, p 122

*С. Р. Маслихов, студ.; рук. А. С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ OVERSAMPLING ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В большинстве случаев при решении задачи классификации данных приходится иметь дело с несбалансированными выборками. В этом случае, большие по объему классы называются мажоритарными, меньшие — миноритарными. Существует ряд способов борьбы с несбалансированностью — либо уменьшение мажоритарных классов (undersampling), либо увеличение миноритарных (oversampling).

В работе используется текстовая выборка, представляющая собой запросы пользователей в службу поддержки портала ЦОИАС. Решается задача классификации данных запросов — отнесение запросов к одному из центров компетенции (классов). При этом, имеет место несбалансированность — максимальный класс имеет объем 10022, минимальный — 111 запросов.

В работе исследуются следующие методы oversampling: ADASYN, SMOTE, RandomOverSampler [1, 2]. При этом миноритарные классы расширяют до  $N/k$  объектов, где  $N$  — объем обучающей выборки,  $k$  — число классов. В качестве метода классификации в работе используется логистическая регрессия (коэффициент регуляризации = 0.04) [3].

Результаты классификации представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты классификации для методов oversampling

Метод	F1-мера, макроусреднение	F1-мера, микроусреднение
Исходная выборка	0.669	0.818
ADASYN	0.683	0.813
SMOTE	0.683	0.815
RandomOverSampler	0.679	0.815

Видно, что методы oversampling улучшили качество по макроусредненной F1-мере, но не смогли показать положительных результатов по микроусредненной F1-мере [3] по сравнению с качеством классификации по исходной выборке.

### Литература

1. **Nitesh V. Chawla et. al.** SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique — Journal of Artificial Intelligence Research 16 (2002), 321–357
2. **Haibo He, et al.** ADASYN: Adaptive Synthetic Sampling Approach for Imbalanced Learning 2008 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2008), pp. 1322–1328.
3. **Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х.** Введение в информационный поиск. — М.: Вильямс, 2014. — 528 с.

**Секция 17**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ**  
**СИСТЕМЫ**  
**Computer-measuring systems**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Желбаков Игорь Николаевич*

*Секретарь секции: к.т.н., с.н.с. Лупачев Алексей Алексеевич*

*В. А. Смирнов, В. М. Двойников, студенты;  
рук. О. В. Денисова, к.т.н., доц. (СПбГУ, Санкт-Петербург)*

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ MEMS-ДАТЧИКА**

В настоящее время системы на основе микропроцессоров становятся все более востребованными в повседневной жизни человека. Такие системы применяются как для контроля показателей жизнедеятельности организма, так и для управления и контроля условий быта. Существующая система «Умный дом» представляет собой комплексную систему, обеспечивающую удобство и безопасность пользователя.

Предлагается дополнить систему «Умный дом» альтернативной идеей определения положения окна при помощи датчика мониторинга магнитного поля. Предлагаемая система имеет преимущества над уже существующими решениями за счет упрощения установки оборудования, уменьшения количества ее составляющих и возможности определения конкретного положения окна (закрыто, открыто, проветривание).

Основной проблемой применения датчика является определение граничных значений, в которых находится конкретное положение предмета. На основе проведенных исследований выяснилось, что практические значения магнетометра [1] изменяются по нормальному закону распределения. Предлагается использовать некоторый объем, называемый эллипсоидом неопределенности [2], основанный на законе нормального распределения и на методе центра неопределенности. Для детектирования положения используются только те значения проекций на оси, которые отличаются на большую величину, чем величина неопределенности.

Эксперимент проводился в помещении, свободном от предметов, сильно влияющих на магнитное поле. Поправка в два среднеквадратических отклонения является оптимальной при нормальных условиях. При возникновении магнитных бурь показания MEMS-датчика LIS3MDL имеют больший разброс, но не превышающий трех среднеквадратических отклонений. На основе проведенного эксперимента разработан алгоритм, определяющий положение окна в пространстве.

Вывод: таким образом, выбран MEMS-датчик LIS3MDL, разработан алгоритм определения положения окна для системы «Умный дом».

### **Литература**

1. LIS3MDL — 3-axis MEMS magnetic field sensor [Электронный ресурс] // [www.st.com/web/en/catalog/sense\\_power/FM89/SC1449/PF255198](http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM89/SC1449/PF255198)
2. **Архипова А. Б., Лузин А. А.** Аппроксимация трехпараметрического множества неопределенности при помощи эллипсоида // Молодой ученый. — 2010. — № 8. Т. 1. — С. 13–16.

*Ю. С. Бойкова, студ.; рук. Г. В. Антипов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ РЕГИСТРАТОРА АНОМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Показатели качества электрической энергии (ПКЭЭ) являются характеристиками не идеальности фазных напряжений в сетях переменного тока и включают в себя множество параметров. Одними из таких параметров, установленных стандартом [1], являются провалы напряжения и временные перенапряжения. Для пользователей важно, чтобы поступающее на устройство напряжение оставалось максимально стабильным по своему значению на всем промежутке времени его эксплуатации, поэтому регистрация и контроль таких аномалий, с целью их дальнейшего устранения, является актуальной задачей в электроэнергетике.

В докладе проанализированы характеристики современных измерителей ПКЭЭ с батарейным питанием отечественных и зарубежных компаний, таких как АКИП, FLUKE, Yokogawa и др., и приведена их обобщенная структурная схема. В основе работы всех рассмотренных измерителей ПКЭЭ лежит принцип измерения действующего значения напряжения по дискретным отсчетам.

В измерительном канале (ИК) регистратора, преобразованные в код отсчеты обрабатываются для выполнения вычислительных операций и сравниваются с порогами для выявления аномалий.

Проведено моделирование работы ИК для сравнения полученных числовых значений погрешности измерения действующего значения напряжения с реальными погрешностями современных измерителей ПКЭЭ. Рассмотрены возможности использования в структуре регистратора современного 32-х разрядного микроконтроллера семейства STM32F43x для повышения точности измерения действующего значения напряжения.

### **Литература**

1. **ГОСТ 30804.4.30–2013** «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии». М.: 2014, — 58 с.



*А. В. Коваленко, студ.; Н. М. Чжо, асп;  
рук. А. А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РОБАСТНЫЙ ИНТЕРВАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ**

При температурных испытаниях сложных объектов принято использовать различные стандартизованные критерии по определению момента окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ). Такие критерии окончания ПП названы критериями интервального вида (КИВ), которые осуществляют наблюдение за сигналом ПП в ИЦ в режиме on-line [1].

Достоинством данного критерия является то, что он работает без достаточной априорной информации о порядке модели ПП. Однако в данной работе планируется рассматривать только ПП с динамикой первого порядка.

Таким образом, рассматривается только сигнальная и параметрическая априорные неопределенности. В работе представлен алгоритм робастного интервального критерия для определения установившегося момента в ПП.

Робастность подразумевает под собой нечувствительность к сигнальной, параметрической и структурной неопределённости ИЦ. Робастность достигается за счет использования эталонной модели. Подход к разработке робастного алгоритма изложен в докладе на XXX Симпозиуме «ММО-2020», проходившем в дистанционном режиме в сентябре 2020 г. [2].

Эталонная модель в данной работе строится на основании параметров критерия. Основными параметрами является длительность интервала наблюдения (ДИН) за сигналом ПП и допускаемое приращение сигнала на интервале ДИН. На основании этих параметров вычисляется критическая постоянная критерия (КПК). Результат применения критерия можно оценить через достоверность результата по критерию: положительное решение или ложноположительное, с динамической погрешностью первого рода, которая превышает допускаемый уровень.

Результат объявляется ложноположительным, если текущий момент окончания ПП наступает после сигнала с выхода эталонной модели. В таком случае происходит изменение длительности интервала наблюдения.

Результатом исследований является оценка эффективности работы робастного критерия в случае применения на всём интервале параметрической неопределённости. Исследования проведены имитационным моделированием с использованием метода Монте-Карло. Получены оценки распределения временных затрат на получение положительного решения для параметра ИЦ на интервале не более КПК и вне этого интервала.

### **Литература**

1. **Нэй Мью Чжо, Лупачев А. А., Еличева Е. А., Куликова К. С., Пецинярж А. Р.** Результаты исследований интервального критерия установившегося значения при испытаниях сложных объектов // XII МНТК «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации». — Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. — С. 106–108.
2. **Y. S. Bekhtin, A. V. Kovalenko, A. A. Lupachev, N. M. Kyaw, A. R. Petsinyarzh.** Robust Interval Criterion for a Steady Value // 30-th International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2020”, 2020. Sozopol, Bulgaria.

*Е. А. Еlicheva, студ.; рук. А. А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ СТАРШИХ ПОРЯДКОВ**

В действующих международных стандартах по испытаниям сложных объектов рекомендованы критерии окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ). Эти критерии, «критерии интервального вида» (КИВ), по умолчанию предполагают использование в качестве базовой динамическую модель ИЦ первого порядка [1].

Задача определения момента окончания ПП является частью более общей задачи принятия решений на основе текущей информации о сигнале ПП в условиях априорной сигнальной, параметрической и структурной неопределённости математической модели ИЦ.

Известно, что имеется ограничение по использованию КИВ: критерий правильно решает вопрос о достижении установившегося значения ПП в ИЦ только при условии, если текущего значения постоянной времени ИЦ не превосходит критической постоянной критерия (КПК) КИВ даже в штатном режиме его использования. Нарушение этого условия приводит к существенному повышению итоговой динамической погрешности второго рода по сравнению с допусаемым уровнем.

В докладе ставится задача исследования поведения КИВ для ИЦ с динамическими моделями старших порядков, т. е. второго и третьего.

Результаты моделирования КИВ для аperiодической области диаграммы Вышнеградского (ДВ) ИЦ третьего порядка показали, что функциональная зависимость КПК представлена в виде сложной поверхности [2]. Асимптотические закономерности поведения КПК для биссектрисы исследуемой области ДВ было найдено как функция различных параметров КИВ и ИЦ.

На трёх наборах параметров КИВ и ИЦ проверена устойчивость и работоспособность модифицированного критерия, оформленного в виде алгоритма с эталонной моделью.

### **Литература**

1. **Нэй Мью Чжо, Лупачев А. А., Еlicheva Е. А., Куликова К. С., Пецинярж А. Р.** Результаты исследований интервального критерия установившегося значения при испытаниях сложных объектов // XII МНТК «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации». — Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. — С. 106–108.
2. **N. A. Serov, Nay Myo Kyaw, A. A. Lupachev, E. A. Elicheva, Y. S. Bekhtin, A. R. Petsinyarzh.** Generalization of studies of the interval criterion of steady-state value in the measuring chain with structural uncertainty // 29-th International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2019”, 2019. Sozopol, Bulgaria.

*К. М. Воробьев, асп.;*  
*рук. Ю. С. Бехтин, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИЯ СПЕКЛА ИЗВЛЕЧЕНИЕМ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР В СУБПОЛОСАХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ХОДЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ИЗДЕЛИЙ**

Рассматривается метод подавления спекл-шума в цифровых изображениях металлических изделий, полученных с помощью фазированных решеток при иммерсионной ультразвуковой диагностике в различных спектральных диапазонах, основанный на согласованном преследовании когерентных структур в субполосах вейвлет-декомпозированного изображения [1, 2]. Итеративное отделение когерентных структур в пределах каждой субполосы организовано как адаптивная пороговая обработка вейвлет-коэффициентов (adaptive hard thresholding), используя наилучший вейвлет-базис, который выбирается из библиотеки базисов и который минимизирует заданную функцию стоимости [3]. Обработанное изображение формируется как кумулятивная сумма псевдоизображений, вычисленных после обратного вейвлет-преобразования на каждой итерации. Когерентными считаются такие структурные особенности изображений, которые сильно коррелируют с выбранным вейвлет-базисом.

В качестве критерия для отбора наилучшей когерентной структуры применяется вогнутая функция стоимости Шура на основе энтропии.

В докладе приводятся результаты статистического моделирования, показывающие преимущество предлагаемого метода по сравнению с известными подходами по критериям пикового отношения сигнал-шум и индекса структурного сходства SIMM, а также результаты, показывающие улучшение некоторых метрологических характеристик при неразрушающем контроле дефектов металлических изделий сложной формы.

### **Литература**

1. **S. Mallat, and Z. Zhang**, “Matching pursuits with time-frequency dictionaries” *IEEE Transactions on Signal Processing* 41 (12), 3397–3415 (1993).
2. **D. Donoho, and I. Johnstone**, “Ideal De-noising in an Orthonormal Basis chosen from a Library of Bases” *C.R. Acad. Sci., Série I*, 1317–1322 (1994).
3. **Y. S. Bekhtin, and A. A. Bryantsev**, “Despeckling in SAR images by matching pursuit of subband coherent structures using the library of wavelet bases,” *Proceedings of SPIE Conference on Remote Sensing: SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques*, XI, Vol. 8179, 81790T, P. 13. Prague, Czech Republic, September, 19–22, 2011.

*Нэй Мью Чжо, асп.; К. С. Куликова, студ.;  
рук. А. А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ**

На отечественном рынке представлен ряд фирм, выпускающих одноканальные газоанализаторы. Диапазон измерения таких измерительных приборов равен 50% об. нижнего концентрационного предела распространения пламени. Приведённая погрешность современных газоанализаторов горючих газов (ГГ) составляет до 20%. Задача создания цифрового измерителя концентрации (ЦИК) ГГ повышенной точности остаётся актуальной и с настоящее время.

В настоящее время активно развиваются динамические методы измерения концентрации, что объясняется известными их преимуществами над статическими методами. Основой для построения ЦИК являются термокаталитические сенсоры, состоящие из рабочего (РЧЭ) и опорного (ОЧЭ) чувствительных элементов [1, 2].

Существенная погрешность результата измерения ЦИК обусловлена существенным различием в начальных сопротивлениях РЧЭ и ОЧЭ. Для известных отечественных моделей, например, сенсора ДТК1-3, предельное относительное отклонение начального сопротивления составляет  $\pm 21,7\%$ . Этот технологический недостаток определяет критическую составляющую погрешности (КСП) измерителя и риск получения недостоверного результата измерений [3].

В работе определен контролируемый параметр (КК) средства измерения [4]. Именно отклонение этого параметра от опорного значения  $КК(0)$  определяет КСП. Это позволило разработать алгоритм коррекции технологического недостатка сенсора путем введения поправки  $КК(i)$  в сигнал переходного процесса ОЧЭ. Итерационный алгоритм коррекции включает следующие этапы: начальное определение  $КК(0)$ ; вычисление текущего значения  $КК(i)$ ; введение мультипликативной поправки в отсчёты на выбранном интервале переходного процесса. Моделирование алгоритма коррекции позволило оценить дополнительную приведённую погрешность  $\gamma_{\text{доп.кк}(i)}$  результата измерения в зависимости от погрешности задания  $\delta_{\text{кк}(i)}$  мультипликативной поправки. При этом установлено, что коэффициент влияния  $\Psi(i) = \gamma_{\text{доп.кк}(i)} / \delta_{\text{кк}(i)}$ , является значительным со средним значением  $\Psi_{\text{СР}} = 5,6$ . Это накладывает жесткие требования на точность реализации  $КК(i)$ .

### **Литература**

1. **Савельев В. А.** Способ определения концентрации горючих газов в кислородосодержащей среде. Патент РФ 2156972. G01N 27/16. Бюл. № 27, 2000.
2. **Карпов Е. Ф., Карпов Е. Е., Манюшин А. И., Миронов С. И.** и др. Способ и устройство детектирования дозврывных концентраций метана в воздухе. Патент РФ 2447426. G01N 27/18. Бюл. № 10, 2012.
3. **Тайманов Р. Е., Сапожникова К. В., Дружинин И. И.** Интеллектуализация датчиков как средство повышения их метрологической надежности. // 21<sup>th</sup> National Scientific Symposium with international participation "METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2011", September 10–14, 2011. Sozopol, Bulgaria. — Pp. 73–78.
4. **Сапожникова К. В., Лекосье А., Тайманов Р. Е.** Интеллектуальное средство измерений температуры. Патент РФ 2617458. G01K 7/16. Бюл. № 12, 2017.

Ф. С. Поддубный, студ.; рук. А. А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Работа выполнена в рамках исследований, проводимых на кафедре ДИТ НИУ «МЭИ», интервального критерия (ИК) определения момента окончания (ОМО) переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ) при испытаниях. сложных объектов. Интервальные критерии ОМО ПП в ИЦ рассмотрены, например, в работе [1]. ИЦ [2] цифровых средств измерения, применяемые при испытаниях сложных объектов, характеризуются априорной параметрической неопределённостью. Определённое сочетание текущих параметров модели (ТПМ) ИЦ и параметров ИК [3] приводят к ложноположительному решению ОМО сигнала ПП (СПП). Ограничение на ИК определено в виде критической постоянной критерия. Преодолеть данное ограничение позволяет применение робастного модифицированного ИК с использованием СПП.

Анализ результатов моделирования интервального критерия для модели измерительной цепи первого порядка позволяет найти новую измерительную информацию для применения методов робастного управления к задаче ОМО ПП. Основой этому является динамика контролируемого параметра, под которым понимают отношение предыдущего приращения СПП к последующему, причём приращения берутся на смежных интервалах наблюдения. При этом рассматривается отличие контролируемого параметра от опорного значения. Показано, что настройка оптимальной длительности интервала наблюдения (ОДИН) под неизвестный текущий динамический параметр ИЦ, возможен на основе анализа поведения контролируемого параметра. Реализация ОДИН в критерии исключает наступление ситуации ложноположительного решения при любом сочетании ТПМ ИЦ и текущих параметров ИК.

### **Литература**

1. **Нэй Мью Чжо, Лупачев А. А., Еличева Е. А., Куликова К. С., Пецинярж А. Р.** Результаты исследований интервального критерия установившегося значения при испытаниях сложных объектов // XII МНТК «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации». — Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. — С. 106–108.
2. **Викулов А. Г.** Математическое моделирование теплообмена в космических аппаратах // Вестник Концерна ВКО «Алмаз — Антей», № 2, 2017. — С. 61–78.
3. **Bekhtin Yu. S., Kyaw N. M., Kovalenko A. V., Lupachev A. A., Kyaw N. M., Peci-nyarzh A. R.** Robust interval criterion for a steady value // 30<sup>th</sup> International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2020”, 2020. Bulgaria.

*Д. А. Чумаченко, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ, ВЫЗВАННОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ КВАНТОВАНИЯ АЦП, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ**

В настоящее время среднее квадратическое значение (СКЗ) является наиболее часто измеряемым параметром электрических сигналов в электроэнергетике. Для измерения СКЗ наиболее распространено применение цифровых методов.

Для получения отсчетов сигнала в измерительном канале используются аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Реальные АЦП обладают конечной разрядностью, что приводит к возникновению погрешности квантования (шум квантования). Вне зависимости от применяемого метода измерения, шум квантования вызывает погрешность измерения СКЗ.

В статье рассмотрена погрешность измерения СКЗ для случая метода, основанного на усреднении квадратов отсчетов [1]–[2]. Выполнено исследование влияния параметров АЦП на погрешность измерения СКЗ. Предлагаемый способ оценки погрешности, вызванной погрешностью квантования основан на использовании степенного аппроксимирующего полинома от частоты дискретизации. Получено аналитическое выражение, позволяющее оценить погрешность измерения СКЗ от параметров сигнала и АЦП при использовании предлагаемого способа оценки погрешности:

$$\Delta X_A = \Delta X_{WC} \left( A_0 + A_1 \frac{1}{f_S} + A_2 f_S \right),$$

где  $\Delta X_{SM}$  — оценка погрешности методом «наихудшего случая»;  $A_0, A_1, A_2$  — значение коэффициентов аппроксимирующего полинома.

В работе показано, что предлагаемый способ расчета погрешности позволяет на 30% снизить оценку погрешности (по результатам имитационного моделирования) по сравнению с методом «наихудшего случая». Имитационного моделирования выполнено в программном пакете Matlab. Достоверность аналитических выражений подтверждена совпадением с результатами моделирования в контрольных точках.

### **Литература**

1. **Fan Wang, M. H. J. Bollen.** Frequency-response characteristics and error estimation in RMS measurement // IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, Vol. 19, No. 4, pp. 1569–1578.
2. **Anna A. Kostina, Plamen M. Tzvetkov, Andrey N. Serov.** Investigation of the method of RMS measurement based on moving averaging // 55th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, Niš, Serbia, September 10–12, 2020, pp. 1–4.

*Д. А. Чумаченко, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО СПЕКТРА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДПФ**

Абсолютное большинство показателей электроэнергии измеряются косвенно через параметры комплексного спектра сигнала. По этой причине точное измерение амплитудного и фазового спектров представляет наибольшую важность. Для измерения комплексного спектра наиболее часто применяется дискретное преобразование Фурье. Точность измерения комплексного спектра при применении дискретного преобразования Фурье связана с так называемым эффектом «растекания спектра» [1]–[2].

В статье предложен способ компенсации влияния эффекта «растекания спектра», основанный на измерении частоты в частотной области и расчета подстроечных коэффициентов для амплитудного и фазового спектров:

$$X_m \cong \frac{|\dot{X}[s]|}{N0.5} - \frac{d_f}{2} \cos \left( \frac{\pi m}{0.5} \left( d_f + \frac{1}{N} \right) - \frac{\varphi}{0.5} \right), \quad \varphi \cong \arg(\dot{X}[s]) + \pi m d_f - 0.5\pi;$$

где  $|X[s]|$  — результат определения фазового спектра;  $N$  — число усредняемых отсчетов;  $d_f$  — отклонение частоты от номинального значения;  $m$  — число измеряемых периодов входного сигнала.

В работе рассмотрены особенности применения предложенного способа для случая синусоидального и полигармонического входного сигнала. Предложены модификации для случая применения алгоритма быстрого преобразования Фурье (измерения большого числа спектральных компонент) и алгоритма Герцеля (измерение небольшого числа спектральных компонент, но не менее трех). Получены аналитические соотношения, позволяющие оценить погрешность измерения комплексного спектра. В программных пакетах Matlab и Simulink выполнено имитационное моделирование предлагаемой методики, позволяющее оценить эффективность её применения и оценить точность полученных аналитических выражений. Результаты имитационного моделирования показывают, что применение указанного подхода позволяют снизить погрешность измерения до 40 раз для случая синусоидального входного сигнала.

### **Литература**

1. **C. Liguori, A. Paolillo, A. Pignotti.** An intelligent FFT analyzer with harmonic interference effect correction and uncertainty evaluation," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 53, no. 4, pp. 1125–1131, 2004.
2. **Михалин С. Н., Геворкян В. М.** Проблемы цифровой обработки сигналов в системе автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ) // Вестник МЭИ, 2005, № 1, с. 86–92.

Д. А. Чумаченко, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ УСРЕДНЕНИЯ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время для измерения активной мощности в заданной полосе частот наиболее популярен метод, основанный на усреднении мгновенной мощности [1]. Основная причина возникновения погрешности для данного метода связана с девиацией частоты входного сигнала.

В статье проанализирована зависимость методической погрешности измерения активной мощности от влияющих величин: частоты входного сигнала, времени измерения, частоты дискретизации. Для случая синусоидального входного сигнала получено аналитическое выражение, позволяющее оценить погрешность измерения активной мощности предлагаемым методом:

$$\delta_p = -\frac{\cos((N-1)\omega T_s + 2\alpha + \varphi)\sin(\omega N T_s)}{N \sin(\omega T_s)\cos(\varphi)},$$

где  $N$  — число усредняемых отсчетов;  $T_s$  — период дискретизации;  $\alpha$  — начальная фаза напряжения;  $\varphi$  — фазовый сдвиг между напряжением и током;  $\omega$  — угловая частота входного сигнала.

Получены условия, при выполнении которых удастся снизить погрешность рассматриваемого метода измерения. Предложены два подхода к снижению погрешности измерения активной мощности данным методом: способ, основанный на подстройке числа усредняемых отсчетов и способ, основанный на подстройке начальной фазы входного сигнала. Помимо этого, рассмотрен комбинированный подход, основанный на применении одновременно и подстройки числа отсчетов и подстройки начальной фазы сигнала. Для каждого подхода разработаны методики их применения для цифровых измерительных преобразователей активной мощности, получены аналитические соотношения для расчета итоговой погрешности измерения, проведено имитационное математическое моделирование. Выполнен сравнительный анализ рассматриваемых подходов к снижению погрешности с точки зрения конечной погрешности и сложности реализации на реальной элементной базе. Имитационное математическое моделирование выполнено в пакетах Matlab и Simulink. Достоверность полученных аналитических выражений подтверждена совпадением результатов с имитационным математическим моделированием в контрольных точках.

### Литература

1. A. N. Serov, A. A. Shatokhin. Analysis of truncation error at digital measurement of power and energy // MPEI Vestnik, No. 5, 2008, pp. 107–112.



*А. А. Гулько, студ.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСИЛИТЕЛЕЙ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ**

В настоящее время инструментальные усилители с программируемым коэффициентом усиления (ПКУ, в англоязычной литературе — PGA) являются наиболее востребованы при разработке устройств измерения и управления. Основным отличием от «традиционных» инструментальных усилителей является возможность цифровым образом изменять значение коэффициента усиления. Усилители с ПКУ обладают высокой точностью по сравнению с усилителями с варьлируемым коэффициентом усиления и простотой применения в цифровых схемах по сравнению с «традиционными» инструментальными усилителями.

В работе представлен сравнительный анализ современных усилителей с ПКУ ведущих производителей — компаний Analog Devices и Texas Instruments. Особое место уделено параметрам усилителей, характеризующих точность преобразования, среди которых: смещение нуля (аддитивная погрешность), отклонение коэффициента усиления от номинального значения (мультипликативная погрешность) и нелинейность функции передачи (погрешность линейности).

С помощью программы TINA-TI была произведена оценка метрологических параметров существующих моделей усилителей с ПКУ компании Texas Instruments и выполнено сравнение полученных значений с значениями, указанными в технических описаниях усилителей. В результате исследования было установлено, что все полученные параметры не выходят за пределы, установленные в технических описаниях.

С помощью пакета имитационного моделирования Simulink была построена обобщенная модель усилителей с ПКУ. Предложенная модель позволяет учитывать такие аспекты усилителей с ПКУ как: номинальное значение коэффициента усиления; диапазон изменения входного и выходного сигналов; параметры аддитивной, мультипликативной и нелинейной составляющих погрешности; опорное напряжение и вид частотной характеристики. Применение построенной модели позволяет существенно упростить оценку погрешности усилителей с ПКУ. Данная модель может быть применена для оценки погрешности других блоков преобразования, например, аналого-цифровых преобразователей.

### **Литература**

1. **B. Carter, R. Mancini.** Op Amps for Everyone // Elsevier Science. — 2017. — 931 p.
2. **У. Кестер.** Аналого-цифровое преобразование // М. Техносфера. — 2007. — 1016 с.

*А. Р. Сенченко, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ АЦП НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КВАДРАТУРНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА**

В настоящее время метод квадратурной демодуляции [1] применяется для измерения амплитудного, фазового спектров и частоты периодических несинусоидальных сигналов. Данный метод является альтернативой популярному методу на основе дискретного преобразования Фурье [1]–[2].

Входной сигнал квадратурного демодулятора поступает с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Функция преобразования реального АЦП неидеальна — имеют место смещение нуля, нелинейная и мультипликативная составляющие погрешности [2]. Все эти особенности влияют на погрешности измерения амплитуды, измеряемой с помощью квадратурного демодулятора. В данной статье рассмотрено влияние каждой из перечисленных составляющих погрешности на погрешность измерения амплитудного спектра. Рассмотрено представление нелинейности АЦП с помощью полиномиальной функции третьего порядка [2], в виде случайной функции и методом «наихудшего случая». Получены соотношения, позволяющие оценить погрешность измерения амплитудного спектра для рассмотренных форм нелинейности:

$$\Delta|\hat{y}[n]| = \frac{\Delta X_{NL} H_1}{2} \left( 1 + \frac{1 - \cos^2(2\omega_1 n + \theta)}{2} \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^2 - \frac{H_2}{H_1} \cos(2\omega_1 n + \theta) \right),$$

где  $\Delta X_{NL}$  — отклонение амплитудного значения спектральной компоненты, вызванной нелинейностью АЦП;  $\omega_1$  — частота входного сигнала;  $H_1, H_2$  — значения АЧХ фильтра для частот 0 Гц и  $2\omega_1$ .

С помощью программного пакета Simulink построена модель имитационного моделирования квадратурного демодулятора и АЦП. Рассмотрен демодулятор с БИХ-фильтром Баттерворта третьего порядка. Достоверность аналитических соотношений подтверждена совпадением результатов, полученных путем применения аналитических выражений и результатов имитационного моделирования в контрольных точках.

### **Литература**

1. **A. N. Serov, N. A. Serov, S. I. Gerasimov.** Application of the Quadrature Demodulation for the Measurement of Electric Power Parameters // Proceedings of 18th International Symposium INFOTEN-JAHORINA (INFOTEN 2019), pp. 1–6, 2019.
2. **Михалин С. Н., Геворкян В. М.** Проблемы цифровой обработки сигналов в системе автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ) // Вестник МЭИ, 2005, № 1, с. 86–92.
3. **P. Suchanek, D. Slepicka, V. Haasz.** Several approaches to ADC transfer function approximation and their application for ADC nonlinearity correction // Metrology and Measurement Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 501–511, 2008.

*А. Р. Сенченко, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ МЕТОДОМ КВАДРАТУРНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ**

В настоящее время существует большое число методов измерения частоты сигнала [1]–[2]. Большинство из них могут быть применены только для синусоидального сигнала. Другие методы ограничены в практическом использовании вследствие значительного времени измерения.

Метод измерения, основанный на применении квадратурной демодуляции [2], лишен указанных недостатков. Данный метод является перспективным для задач измерения частоты сигналов электрических сетей. В работе изложены основные принципы измерения частоты на основе квадратурного демодулятора. С помощью модели, построенной в программном пакете Simulink, исследована погрешность измерения частоты при применении данного метода. Рассмотрено применение цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) Баттерворта и Чебышева первого рода. Получена аналитическая зависимость, связывающая погрешность измерения частоты и параметры фильтра:

$$\delta f_1 = 2 (H_2/H_1) \sin(\omega_1) \cos(2\omega_1 n - \omega_1 + \theta) f_s / (2\pi f_1) + \delta f_1 \delta f_s / (1 + \delta f_1),$$

где  $\delta_{\Delta\varphi}$  — составляющая погрешности  $\delta f_1$ , обусловленная неточным измерением приращения фазы;  $\delta f_1 = \Delta f_1 / f_{1,ном}$  — относительное отклонение частоты  $f_1$  от  $f_{1,ном}$ ;  $\theta = 2\alpha + \varphi_{LP}(\Delta\omega) + \varphi_{LP}(\omega_1 + \omega_0)$ ;  $H_1, H_2$  — значения АЧХ фильтра для частот 0 Гц и  $2\omega_1$ .

Предложены подходы, основанные на применении фильтрации выходного сигнала квадратурного демодулятора (пост-фильтрации) и усреднения, позволяющие существенно снизить погрешность измерения частоты рассматриваемым методом. Исследована связь параметров пост-фильтра и конечной погрешности измерения частоты. Достоверность полученных аналитических выражений подтверждена результатами имитационного моделирования, выполненного в пакете Simulink.

### **Литература**

1. **M. M. Begovic, P. M. Djuric, S. Dunlap, 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.
2. **A. N. Serov, A. A. Shatokhin, G. V. Antipov** “Method to reduce the measurement error of the spectrum by the demodulation technique,” Proceedings of International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2018), pp. 1–6, 2018.

*А. Р. Пецинярж, студ. (МГТУ им. Баумана); Ф. С. Поддубный, студ.;  
рук. А. А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РОБАСТНОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ ПРИРАЩЕНИЙ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА**

Задача определения момента окончания (ОМО) переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ) при проведении испытаний сложных объектов (СО) имеет актуальность и в настоящее время. Например, в работе [1] указывается на значительную динамическую погрешность первого рола, при определении окончания динамического режима испытаний, находящуюся в пределах от 10 до 43% из-за ненадлежащего критерия интервального вида (КИВ) для СО с динамической моделью первого порядка. Важность решения этой задачи подчёркивается включением её в стандарты по методам проведения испытаний СО в различных технологиях.

В работе J. W. Welch [2] из «Aerospace Corporation» отмечается значение исследований в «NASA», выполненных S. L. Rickman [3], и в «European Space Research and Technology Center», Colizzi E. [4], для решения задачи ОМО ПП. На кафедре ДИТ НИУ «МЭИ» проводятся подобные исследования, итоги которых отражены в докладах на симпозиумах «Metrology and Metrology Assurance» (Bulgaria) в 2015–20 гг. В докладе на «ММА-2020» поставлена задача разработки робастного критерия ОМО ПП в условиях априорной сигнальной и параметрической неопределённости моделей ИЦ. КИВ имеет ограничение на использование, которое определяется критической постоянной критерия.

Проведённое моделирование позволило обнаружить новую информацию о КИВ, принимающего ложноположительное решение ОМО ПП. Анализ динамики текущего приращения сигнала ПП на соседних интервалах наблюдения служит основой для построения робастного алгоритма для моделей ИЦ с динамикой первого порядка.

### **Литература**

1. **G. Zdenko.** Steady-state temperature rise determination // *Automatika*, 33, 1992. — P. 129–134.
2. **J. W. Welch.** Assessment of Thermal Balance Test Criteria Requirements on Test Objectives and Thermal Design // 46<sup>th</sup> International Conference on Environmental Systems, Austria, 2016. — 13 p.
3. **E. Colizzi.** Rationalisation of Stabilisation Criteria for Thermal Balance Tests // 26<sup>th</sup> European Space Thermal Analysis Workshop, 2012. — P. 193–204.
4. **Rickman S. L., Ungar E. K.** A Physics-Based Temperature Stabilization Criterion for Thermal Testing, // 25<sup>th</sup> Aerospace Testing Seminar, 2009. — 22 p.

*Е. В. Мороз, асп.; рук. А. Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ АЦП НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ ДЛЯ МЕТОДА НИЗКОЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

В настоящее время для измерения СКЗ применяются преимущественно цифровые методы. В данной статье рассмотрен цифровой метод измерения СКЗ, основанный на цифровой фильтрации квадрата отсчетов сигнала [1].

Основными достоинствами данного метода является, высокая скорость выполнения измерения (по сравнению с популярным методом, основанным на усреднении квадратов отсчетов) и возможность применения, как в случае синусоидального, так и полигармонического входного сигнала. Реализация цифровых методов измерения предполагает использование аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для получения отсчетов входного сигнала в цифровом виде. Функция преобразования реального АЦП неидеальна: имеет место аддитивные, мультипликативные, нелинейные составляющие погрешности и погрешность квантования, которые имеют различные коэффициенты влияния на погрешность измерения СКЗ.

В работе показано, что для рассматриваемого метода измерения аддитивная составляющая практически не влияет на погрешность измерения СКЗ. Получено, что мультипликативная составляющая линейно связана с погрешностью измерения СКЗ для данного метода измерения. Установлено, что влияние нелинейности и квантования АЦП на погрешность измерения СКЗ определяется их влиянием на ненулевые спектральные компоненты входного сигнала. Для погрешности линейности получены аналитические выражения, позволяющие выполнить расчет погрешности измерения СКЗ рассматриваемым методом для случая представления нелинейности полиномами второго и третьего порядка, методом «наихудшего случая», представлением нелинейности как мультипликативной и в виде случайной функции:

$$\delta X_{L,WC,1} = \frac{2\sqrt{2} \cdot INL \cdot q}{\pi X}, \quad K_h = \frac{2\sqrt{2} \cdot INL \cdot q}{N \cdot X} \left| \frac{\sin(0.5k\pi(1 + 2/N))}{\sin(k\pi/N)} \right|.$$

где  $INL$  — значение интегральной нелинейности;  $q$  — значение кванта АЦП;  $X$  — истинное значение СКЗ;  $N$  — число отсчетов измеряемого сигнала.

В работе на основе пакета Simulink спроектирована схема имитационного моделирования измерительного преобразователя СКЗ.

### **Литература**

1. **К. А. Суханова, А. Н. Серов.** Исследование вариантов построения выходного фильтра для метода измерения СКЗ, основанного на низкочастотной фильтрации // Южно-Сибирский научный вестник. — 2020. — № 4. — с. 46–53.

*В. В. Пойда, асп.; рук. А. А. Шатохин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОЙ ФАПЧ**

Значение частоты является одним из основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Согласно ГОСТ 30804.4.30 приборы измерения ПКЭ класса А должны производить измерение частоты сигнала с погрешностью не больше 0,01 Гц в диапазоне 42,5–57,5 Гц [1]. Погрешность измерения частоты существенно влияет на точность измерения остальных показателей качества. При измерении частоты необходимо учитывать, что значение частоты не является постоянным во времени, а измеряемый сигнал содержит гармоники и фликер. Точность метода «по переходам через нуль» предложенного в ГОСТ 30804.4.30 сильно зависит от этих характеристик сигнала [2].

В данной работе обосновано использование метода измерения частоты электросети с помощью программной фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) в приборах ПКЭ. Так же по результатам имитационного моделирования был выбран вариант реализации фазового детектора (ФД) контура ФАПЧ, который позволяет производить измерения с наименьшей погрешностью.

В результате имитационного моделирования было установлено, что применение умножителя в контуре программной ФАПЧ в качестве ФД позволяет измерять частоту с наименьшей погрешностью среди других видов ФД без предварительной фильтрации сигнала. Было установлено, что реализуемый полностью программно метод измерения частоты с помощью ФАПЧ позволяет измерять значение частоты с относительной погрешностью, не превышающей 0,02%, в том числе при воздействии влияющих величин. Кроме того, было показано, что применение программного метода ФАПЧ для измерения частоты даёт меньшую погрешность в сравнении с методом «по переходам через нуль» в случае полигармонического сигнала.

### **Литература**

1. **ГОСТ 30.804.4.30–2013** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии — М.: Стандартинформ. — 2014. — 57 с.
2. **Серов А. Н.** Разработка и исследование прибора для измерения показателей качества электроэнергии с повышенной точностью. Диссертация — М. — 2016. — 397 с.

**Секция 18**  
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ**  
**И ДИАГНОСТИКА**  
**Non-destructive control and diagnostics**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Лунин Валерий Павлович*

*Секретари секции: к.т.н. Барат Вера Александровна,  
Быков Алексей Александрович*

*И. В. Евсеев студ., рук. Е. Г. Базулин, д.т.н, (НИУ «МЭИ»)*

## **УМЕНЬШЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННОГО ПО ЭХОСИГНАЛАМ, ИЗМЕРЕННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКОЙ**

Актуальной задачей ультразвукового неразрушающего контроля (УЗК) является получение изображения отражателей с большим отношением сигнал/шум (ОСШ). Один из методов восстановления изображения по эхосигналам, измеренным антенной решёткой (АР), является метод цифровой фокусировка антенной (ЦФА) [1]. Регистрация эхосигналов в режиме двойного сканирования происходит следующим образом: сначала излучает первый элемент АР, состоящей из  $N_e$  элементов, а эхосигналы регистрируются всеми элементами АР (первый выстрел). Процесс повторяется пока не будут зарегистрированы все  $N_e$  выстрелов. Обычно для получения ЦФА-изображения парциальные изображения невысокого качества по всем выстрелам суммируются. Для уменьшения уровня шума предлагается каждое парциальное изображение подвергнуть операции отсечки по уровню его среднего, а объединённое изображение получать попиксельно с помощью операции медианы. Предложенный метод эффективно применять и при объединении ЦФА-изображений, восстановленных для нескольких положений АР (тройное сканирование), в ЦФА-Х-изображение [2].

Эффективность алгоритма проверялась в модельных экспериментах. При получении ЦФА-изображения трещины высотой 5 мм на глубине 18 мм с использованием АР на 5 МГц и  $N_e = 32$  удалось повысить ОСШ изображения на 12 дБ. При восстановлении ЦФА-Х-изображения плоскодонного отверстия диаметром 1 мм на глубине 30 мм по эхосигналам, измеренным в десяти положениях АР с шагом 2 мм, ОСШ изображения удалось повысить на 20 дБ.

Предложенный метод можно использовать и для увеличения ОСШ ФАР-изображений при объединении эхосигналов для каждого луча S-скана.

### **Литература**

1. **Воронков В. А., Воронков И. В., Козлов В. Н., Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г.** О применимости технологии антенных решеток в решении задач ультразвукового контроля опасных производственных объектов // В мире неразрушающего контроля. 2011. Т. 51. № 1. С. 64–70.
2. **Базулин Е. Г., Вовпидкин А. Х., Тихонов Д. С.** Повышение достоверности ультразвукового контроля. Часть 2. Повышение отношения сигнал/шум // Контроль. Диагностика. 2015. № 9. С. 10–27.



*М. С. Доброклонская, студ.;  
рук. В. П. Лунин, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОБМЕННЫХ ТРУБ**

Важной задачей для обеспечения безопасности на АЭС с реакторами ВВЭР является совершенствование технологии оценки глубины трещины в трубах парогенератора.

Традиционный подход к решению, широко применяемый в настоящее время на практике — метод на основе калибровочных характеристик. Суть метода заключается в сравнении параметров, выделенных в экспериментальных данных, с параметрами стандартных сигналов, полученных от множества известных дефектов.

Известный набор сигналов базируется на трехмерных математических моделях, описывающих взаимодействие первичных преобразователей поля с объектами, содержащими дефекты.

Процесс обработки численных данных, полученных в результате моделирования достаточно однообразный и трудоемкий. Задачей настоящей работы является разработка прототипа платформы, позволяющего упростить и систематизировать процесс сопоставления результатов моделирования с реальными сигналами.

Функционал проекта позволяет:

- строить собственные калибровочные кривые
  - откалибровать полученные сигналы в соответствии с выбранной методикой
- Разработанный прототип представляет собой набор взаимосвязанных микросервисов на базе Java-фреймворка Spring Boot [1] и реляционной СУБД PostgreSQL.

Предложенный подход позволяет легко масштабировать систему, использовать широкий спектр вычислительных платформ и обеспечивает стабильность в случае нарушения работы отдельных компонентов.

Проект обладает высоким учебным потенциалом и перспективой для научно-исследовательских работ.

### **Литература**

1. Spring Framework [Электронный ресурс], URL: <https://spring.io/projects/spring-framework>
2. **Rosell A., Persson G.** Modelling of a Differential Sensor in Eddy Current NonDestructive Evaluation, COMSOL CONFERENCE 2011 — Stuttgart

*М. С. Доброклонская, студ.;  
рук. В. П. Лунин, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ И РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИНЫ НА ОЦЕНКУ ЕЕ ГЛУБИНЫ**

Опыт эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР показывает, что наиболее актуальными являются вопросы коррозии теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов (ПГ). Среди различных коррозионных повреждений чаще всего встречаются трещины, чреватые разгерметизацией ТОТ, что приводит к радиоактивному загрязнению. Заключение о повреждении ТОТ требует срочной заглушки отдельных труб, либо, при большом количестве заглушенных труб, замены ПГ. Первое влечет снижение мощности энергоблока, а второе — огромные расходы материальных ресурсов. Ошибочная оценка результатов контроля делает затраты неоправданными. На сегодняшний день основным методом контроля ТОТ парогенераторов является вихретоковый многочастотный метод (ВТК).

Основным параметром, по величине которого принимается решение о необходимости глушения, является глубина дефекта. Классический подход к определению глубины диктуется калибровочной характеристикой по фазе годографа сигнала. Поэтому очень важно при оценке глубины трещины учитывать возможные отклонения, обусловленные изменением длины, формы и раскрытия контролируемой трещины.

В настоящей работе проведено исследование влияния геометрических параметров трещины на изменение фазы годографа сигнала по результату ВТК ТОТ [1]. За основу взята известная калибровочная характеристика для отверстия глубиной 50% от толщины стенки трубки ПГ. Данные получены экспериментально и подтверждены моделированием. Исследование проводилось путем моделирования процесса ВТК ТОТ в среде COMSOL Multyphysics [2]. Изменением раскрытия трещины (от 0,1 до 1,2 мм), а также ее длины (от 2,0 до 10,0 мм) и формы при фиксированной глубине 50% от толщины стенки, удалось получить оценку соответствующего изменения фазы годографа. Учет этой оценки позволит более внимательно подходить к решению вопроса о глушении трубы с несквозными дефектами, не дожидаясь возникновения течи, а также уменьшит количество ТОТ, которые подлежат глушению.

### **Литература**

1. **Лунин В. П., Жданов А. Г.** Модельные исследования процедуры вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС; Издательство МЭИ 2015
2. **Rosell A., Persson G.** Modelling of a Differential Sensor in Eddy Current NonDestructive Evaluation, COMSOL CONFERENCE 2011 — Stuttgart

*Т. И. Попова, асп.; рук. А. А. Самокрутов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ В COMSOL MULTIPHISICS**

В работе представлены основные результаты математического моделирования накладных электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) в программной среде COMSOL Multiphysics.

Для целей моделирования были взяты два примера ЭМАП, в конструкции которых используются постоянный магнит и электромагнит для импульсного подмагничивания. На примере ЭМАП, который используется в комплекте с электромагнитно-акустическим толщинойномером А1270 [1].

При моделировании был использован модуль AC/DC интерфейс Magnetic Fields, который позволяет создать и рассчитать параметры магнитных полей от постоянного магнита или электромагнита и проводника с током. А для анализа акустических колебаний, которые происходят в материале объекта контроля под действием силы Лоренца, наводимой с помощью ЭМАП, использовался модуль Structural Mechanics, интерфейс Solid Mechanics.

Необходимо решать одновременно стационарную задачу, а именно расчет магнитного поля постоянного магнита, так и расчет переменного тока, соответственно в качестве решателя был выбран режим анализа малых сигналов Small-Signal Analysis.

В результате моделирования были получены несколько моделей с различными геометрическими характеристиками и параметрами токов возбуждения. Построены графики распределения магнитных полей и стрелочные диаграммы для индукции магнитного поля. Также получили визуализацию деформаций твердого тела, а именно поверхностные графики упругих смещений, которые показывают, каким образом упругие колебания распространяются в материале. Дополнительно были построены стрелочные графики и визуализации распределения вихревых токов по плотности и глубине проникновения в объект исследования.

### **Литература**

1. **Алехин С. Г.** Толщинометрия металлоконструкций на основе электромагнитно-акустического преобразования в импульсном магнитном поле: Дисс. канд. техн. наук. М.: 2013
2. **Янкин С. А.** Связанные расчеты механических деформаций и электромагнитных полей в COMSOL Multiphysics <https://www.comsol.ru>

А. С. Карасёв, студ. (СевГУ); рук. Е. Г. Базулин, д.т.н, (НИУ «МЭИ»)

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТРАЖАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО АНИЗОТРОПНОГО ДИФFUЗНОГО ФИЛЬТРА

Создание систем автоматизированного распознавания отражателей по изображениям, полученным по эхосигналам, измеренным ультразвуковой антенной решёткой, является актуальной задачей, так как повышает скорость анализа изображений и уменьшает влияние человеческого фактора при подготовке протокола контроля. Один из этапов работы системы распознавания — это кластеризация (сегментация) изображения с использованием текстурного фильтра. В настоящий момент существует несколько типов текстурных фильтров и один из них — адаптивный анизотропный диффузный фильтр, который может быть реализован как в 2D-, так и в 3D-варианте [1].

Для получения изображения методом цифровой фокусировка антенны (ЦФА-Х) эхосигналы регистрировались в 16 положениях с шагом 2 мм на поверхности образца 32-ух элементной антенной решёткой на 5 МГц. На рис. 1а показан результат восстановления изображения трёх отверстий бокового сверления диаметром 3 мм в образце с аустенитным сварным соединением. Контуры сварного соединения и отверстий показаны линиями чёрного цвета. На рис. 1 б представлен результат кластеризации исходного изображения после предварительного выравнивания его гистограммы. После кластеризации блики трёх отверстий хорошо видны и имеют примерно одинаковую амплитуду. Так же на рис. 1б видны блики незаложенных отражателей, расположенных по левой границе сварного соединения и на дне образца. «Побочным» эффектом кластеризации является повышение отношения сигнал/шум изображения.

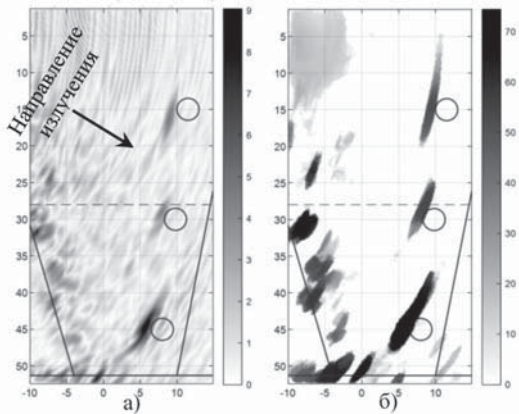


Рис. 1. ЦФА-Х-изображения на продольной волне

### Литература

1. Perona P., Malik J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1990. V. 12, № 6. P. 629–639.

*В. С. Кошельников, аспирант (НИУ «МЭИ»),  
В. П. Лунин, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»),  
А. Н. Серветник, к.т.н. (ФГУП ЦИАМ им. Баранова, Москва)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В процессе эксплуатации диски авиационных двигателей испытывают большие температурные и механические нагрузки. Области, в которых механическое напряжение имеет локальные максимумы называются *критическими зонами* и являются наиболее опасными так как со временем в них начинают развиваться трещины малоциклового усталости.

В последнее время наряду с традиционными методами неразрушающего контроля дисков (капиллярным и рентгеновским) находит эффективное применение вихретокового метода контроля (ВТК) [1]. Однако, применение методов ВТК требует предварительного анализа и подтверждения эффективности работы. Классические методы не позволяют проконтролировать всю внутреннюю поверхность отверстия и нечувствительны к протяженным поверхностным трещинам с малой величиной раскрытия.

В данной работе была рассмотрена критическая зона одного из дисков авиационного двигателя, представленная в виде наклонного отверстия с диаметром  $D = 6.8$  мм.

В данной работе была разработана конструкция вихретокового датчика, которая учитывает недостатки существующих систем, а также предложен способ обработки сигнала, основанный на использовании вейвлет-анализа, за счет чего была увеличена чувствительность к малым дефектам.

### **Литература**

1. ОСТ 1 01207-2012, Авиационный стандарт. Двигатели газотурбинные авиационные. Неразрушающий контроль деталей.

*А. О. Кузнецов, соиск.; рук. Л. А. Чернов, к.т.н., доц.;*  
*В. С. Кошельников, соиск.; О. Н. Будадин, д.т.н.*  
*(АО «ЦНИИСМ», г. Хотьково)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ДИЭЛЕКТРИКАХ**

В большинстве классов многослойных изделий из полимерных композитных материалов не допускается наличие металлических частиц, не входящих в конструкцию изделий, что связано с особенностями эксплуатации таких изделий. Это обуславливает актуальность обнаружения металлических частиц в готовых изделиях и в технологическом цикле их производства [1, 2].

Исследования показали, что металлические частицы в материале имеют различные форму, размеры и случайное распределение в теле объекта.

Проведен анализ современного состояния методов и средств моделирования случайного распределения и формы металлических частиц в диэлектриках, который показал, что подобного рода задача не решена.

Это обуславливает актуальность разработки программного обеспечения позволяющего моделировать случайное распределение и форму металлических частиц в материале.

В качестве результатов проделанной работы удалось добиться возможности генерировать случайные форму металлических частиц и их распределение в пространстве (теле объекта).

Таким образом, разработано программное обеспечение позволяющее моделировать случайное распределение и форму металлических частиц в материале, в современных системах автоматизации инженерных расчетов (ANSYS, COMSOL Multiphysics и т. д.)

### **Литература**

1. **Кузнецов А. О., Чернов Л. А., Будадин О. Н.** Вихретоковый метод и средства контроля малоразмерных металлических включений в многослойных композитных конструкциях. В кн.: РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: тез. докл. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Москва, 15–16 марта 2018. С. 345.
2. **Барынин В. А., Будадин О. Н., Кульков А. А.** Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов. — М.: ИД «Спектр», 2013. — 243 с.

*А. Ю. Билалов, М. Г. Джамалутдинов, студенты;  
рук. А. Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТΟΣКОПА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА**

С каждым годом общая протяженность Российских железных дорог растет, наращивается парк железнодорожного транспорта. Кроме того, повышается риск аварий и форс-мажорных обстоятельств, которые влекут за собой большие убытки для компаний или в некоторых случаях человеческие жертвы. В связи с этим становится актуальным вопрос своевременной диагностики дефектов рельсового полотна, автоматизации контроля качества и снижения человеческого фактора.

Неразрушающий контроль является неотъемлемой частью процесса обнаружения дефектов. Одной из таких форм контроля является ультразвуковая диагностика, которая позволяет определять не только внутренние, но и внешние дефекты, такие как выкрашивание металла, пробоксовка рельсов колесами локомотивов, отслоения, трещины и т. п.

Цель работы заключается в разработке системы контроля внешних дефектов с использованием ультразвуковых пьезоэлементов импульсного типа. В системе использован один передатчик, который формирует зондирующий сигнал, и несколько приемников, расположенных на равных удалениях друг от друга и от источника. Сигнал, полученный с приемников, пропускается через полосовой фильтр, усиливается и передается на обработку микроконтроллеру. Получены временные и пространственные показания каждого приемника в зависимости от расстояния до исследуемого рельса, типа дефекта и расположения приемников.

Испытания показывают, что приведенная схема подходит для проведения внешнего неразрушающего ультразвукового контроля полотна рельса и позволяет определять дефекты площадью более  $1 \text{ мм}^2$ . Потенциально описанный метод диагностики может быть использован в других сферах контроля качества изделий.

### **Литература**

1. **Ермолов И. Н., Гитис М. Б.** Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля / Под общ. ред. И. Н. Ермолова. — М.: Машиностроение, 1986.
2. **Мэзон У.** Пьезоэлектрические кристаллы и их применения в ультразвукике. — М.: Издво иностранной литературы, 1952.
3. **Зудин В. Л.** Датчики: измерение перемещений, деформаций и усилий: учебное пособие для среднего профессионального образования / 2-е изд. — Москва, 2020.

*Н. М. Зубашевский, студ.;*  
*рук. А. Б. Беркин, к.т.н. доц. (НГТУ, Новосибирск)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СИГНАЛА СЛАБОЙ СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ НА ЭКРАНЕ ЭОП**

При изготовлении электронно-оптических преобразователей (ЭОП) возможно появление дефекта в виде сотовой сетки на экране прибора. Цель данной работы — разработать алгоритм, выявляющий данный дефект и определение числа, характеризующего интенсивность сот.

Особенностью данной задачи является малая интенсивность данного сигнала на фоне шума. Для выявления слабого сигнала периодической сотовой сетки используется преобразование Фурье, позволяющее выделять даже очень малые по интенсивности периодические структуры.

Алгоритм состоит из двух основных этапов: подготовка изображения и вычисление мощности сигнала сотовой структуры.

На первом этапе выравнивается яркость путем высокочастотной фильтрации. Затем устраняется неравномерность освещенности на краю рабочей области МКП, а пикселям за пределами данной области присваивается нулевое значение интенсивности. В результате получаем изображение, на котором есть только сигнал сот и шумы.

На втором этапе над полученным изображением производятся следующие операции: вычисление амплитудного спектра, поиск формирующих сотовую структуру частот, выделение несущих частот и вычисление их мощности.

В итоге, алгоритм выдает число, характеризующее интенсивность сотовой структуры на экране ЭОП.

В результате тестирования разработанного алгоритма на качественно отобранном наборе изображений с одинаковой интенсивностью был получен набор чисел со значением среднего значения, равным 0.007 и среднеквадратичным отклонением, равным 0.003.



*А. Ю. Билалов, М. Г. Джамалутдинов, студенты;  
рук. А. Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, г. Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА**

Железнодорожный транспорт в России и в мире не теряет своей актуальности. Отечественный железнодорожный комплекс является одним из крупнейших в мире. Данный факт говорит о несомненной значимости данного вида сообщения как для частных компаний, так и для обычных пассажиров.

Стабильность сообщения подразумевает под собой своевременное обслуживание рельсового полотна, быстрое обнаружение и устранение дефектов. Учитывая общую протяженность железных дорог России в 85,5 тыс. км. актуальным остается вопрос автоматизации обнаружения дефектов рельсового полотна.

Осуществляя неразрушающий контроль полотна, можно добиться достаточной скорости и точности выявления дефектов. Одним из способов неразрушающего контроля является визуально-оптический метод, позволяющий выявлять внешние дефекты: сколы, поперечные и продольные трещины, смятие.

Целью работы является разработка системы контроля внешних дефектов с использованием инфракрасных датчиков. Система состоит из излучателей и приемников ИК диапазона. Далее полученные сигналы усиливаются и поступают в блок обработки.

В докладе представлены результаты проведенных испытаний, на основании которых была доказана возможность и целесообразность применения визуально-оптического метода в дефектоскопии рельсового полотна. При этом были выявлены следующие недостатки инфракрасных датчиков: ложные срабатывания при появлении теплового излучения, уменьшение точности из-за солнечного света, осадков, изменения температуры. Также проведен поиск методов снижения влияния неинформативных параметров на показания датчиков.

### **Литература**

1. **Степанов А. В.** Оптический контроль // Большая российская энциклопедия. Том 24. Москва, 2014, стр. 298
2. **Зудин В. Л., Жуков Ю. П., Маланов А. Г.** Датчики: измерение перемещений, деформация и усилия: учебное пособие для среднего профессионального образования / 2-е изд. — Москва, 2020.

*М. М. Панов, асп.; С. И. Герасимов, соиск.;  
рук. В. Д. Глушнев, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Важным достоинством УЗР является возможность их косвенной калибровки посредством обмера геометрических параметров первичного преобразователя расхода (ППР) с последующим расчетом калибровочных коэффициентов расходомера. Косвенная калибровка расходомеров существенно снижает затраты на проведение измерений в трубопроводах больших диаметров (400...3000 мм).

Возможность косвенной калибровки УЗР следует из известной калибровочной функции (КФ), устанавливающей связь измеряемого расхода жидкости с выходным информативным параметром ультразвукового преобразователя расхода: разностью времен распространения ультразвуковых сигналов (УЗС) по потоку жидкости —  $T_1$ , и против потока жидкости —  $T_2$ .

КФ для большинства УЗР может быть представлена в следующем виде

$$Q = \frac{\pi D^2 L_{mn}^2}{8K_g \cdot Lx} \cdot \frac{T_2 - T_1}{(T_{1\Sigma} - t_{d1}) \cdot (T_{2\Sigma} - t_{d2})}, \quad (1)$$

где  $T_{1,2} = \frac{La}{C \pm v_l \cos \alpha} + \frac{L_k}{C}$ ;  $T_{1,2\Sigma} = T_{1,2} + t_{d1,2}$  — времена распространения сигналов в электроакустическом тракте расходомера,  $t_{d1,2}$  — дополнительные задержки сигналов в электроакустическом тракте УЗР (в кабелях и электронных устройствах, пьезоэлектрических преобразователях);  $D, L_{mn}, Lx, La, \alpha$  — линейно-угловые параметры ППР, определяющие калибровочный коэффициент УЗР;  $K_g$  — коэффициент гидродинамической поправки, учитывающий влияние эпюры скоростей на результат измерения.

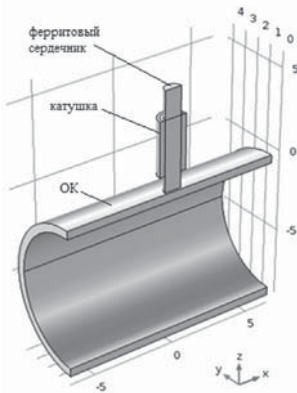
Косвенная калибровка УЗР, согласно (1) включает в себя: **измерение** линейно-угловых параметров ППР, **оценку** коэффициента  $K_g$  и **расчет** калибровочного коэффициента расходомера  $K_Q$ .

В докладе рассматриваются вопросы достоверности и погрешности косвенной калибровки УЗР. При этом отмечается, что для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерения необходимо дополнять экспериментальную проверку методик косвенной калибровки и имитационной поверки УЗР расчетом погрешности, указывать границы применимости используемых методов калибровки и поверки, а также отображать данные расчеты в нормативно-технической документации.

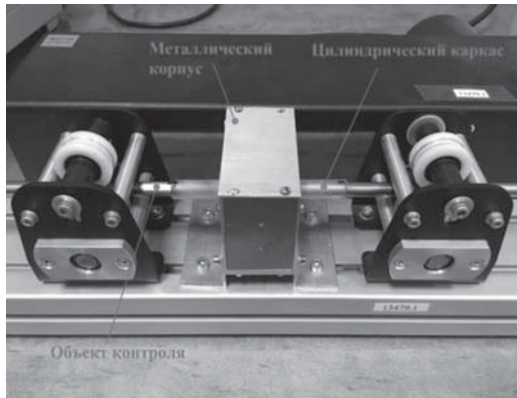
*Н. П. Кодак, аспирантка;  
рук. А. С. Крюков, аспирант; В. П. Лунин, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ ТРУБ**

В статье описывается подход к проектированию и расчету вихретокового многоэлементного накладного преобразователя (МНП) для контроля циркониевых труб. Была разработана математическая модель МНП с целью выбора условий вихретокового контроля. Трехмерная математическая модель вихретокового контроля строилась с помощью метода конечных элементов [2]. Результаты численной модели были сопоставлены с практикой. Анализ полученных данных показал, что для регистрации наличия несплошностей необходимо использовать фазовый метод обработки вихретоковых данных.



**Рис. 1.** Геометрия модели абсолютного НВТП.  
Размерность сетки — мм



**Рис. 2.** Общий вид МНП

Разработана и протестирована система стабилизации зазора МНП, а также исследована возможность применения различных алгоритмов подавления мешающих факторов, сопутствующих проведению экспериментов на установке Elotest PL-500 с манипулятором, с целью значительного их подавления. Также был проведен комплекс экспериментов по контролю образцов циркониевых трубок, оценка возможности выявления дефектов и оценки их геометрических параметров.

### **Литература**

1. **Самойлов А. Г., Волков В. С., Солонин М. И.** Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1996.
2. **Лунин В. П.** Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники, Москва 1996.

*Д. Д. Хохлов, асп. (НТЦ УП РАН, Москва); инж., кафедра ДИТ (НИУ «МЭИ»); рук. В. Э. Пожар, д. ф. -м.н., зав.отд. (НТЦ УП РАН, Москва)*

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВИДЕОЭНДОСКОПИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Приборы для качественного и количественного исследования спектрального состава излучения, взаимодействующего с объектом, позволяют судить о его физико-химических свойствах. Современной тенденцией является создание видеоспектрометров — оптико-электронных приборов, предназначенных для регистрации и анализа пространственных и спектральных характеристик объекта. Для получения таких изображений используются методы и средства, обладающие своими особенностями и преимуществами, но наиболее универсальным является метод, основанный на использовании перестраиваемых оптических фильтров, например, акустооптических (АО). Такие АО видеоспектрометры обеспечивают во многих случаях оптимальное сочетание пространственного и спектрального разрешения, диапазона и скорости перестройки [1, 2].

Применение АО видеоспектрометров в составе эндоскопических систем для неразрушающего контроля (НК) позволит расширить функциональные возможности таких систем за счет реализации спектральной визуализации и бесконтактных спектральных измерений в любой точке поля зрения [3].

Настоящая работа посвящена описанию основных подходов к практической реализации АО видеоспектрометров на основе различных типов эндоскопических зондов. Рассмотрены оптические схемы эндоскопических АО изображающих модулей и перестраиваемых по спектру источников света для эндоскопии. Предложенные методические и схемные решения могут быть использованы для создания малогабаритных эндоскопических изображающих спектрометров для решения задач НК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-51019.

### **Литература**

1. **Chang C.** Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification. Springer Science & Business Media, 2003.
2. **Hagen N., Kudenov M. W.** Review of snapshot spectral imaging technologies // Opt. Eng. 2013. V. 52 (9). № 090901.
3. **Khokhlov D. D., Machikhin A. S., Batshev V. I., Gorevoy A. V., Pozhar V. E.** Endoscopic spectral imagers based on acousto-optic filtration of light // Proc. SPIE. 2019. V. 11210. № 112100D.

С. С. Пичугин, студ.; рук. П. Н. Шкатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ФОРМЫ

При деформации металла, связанного с его растяжением, наблюдается изменение удельного электрического сопротивления  $\rho$ . Важную для оценки технического состояния металла взаимосвязь  $\rho$  с относительным удлинением  $\epsilon$  металлического образца получают при его механических испытаниях на растяжение. Измерение  $\rho$  проводят электропотенциальным методом с использованием двух токовых и двух потенциальных электродов.

Сложность измерения  $\rho$  в процессе растяжения связана с изменением его длины и поперечного сечения, что при традиционной схеме измерения с фиксированными на поверхности образца электродами приводит к гораздо большему изменению регистрируемого напряжения, чем измеряемая величина. Для соответствующей коррекции применяют разметку поверхности образца и высокоточную фоторегистрацию изменения его размеров [1], что весьма трудоемко.

Автоматическая коррекция может быть выполнена путем синхронного с растяжением перемещения потенциальных электродов относительно поверхности образца навстречу друг к другу (рис. 1). В процессе растяжения измеряются напряжения  $U_{12}$  и  $U_{13}$  между соответствующими потенциальными электродами. Регистрация  $U_{13}$  позволяет напрямую измерять величину  $\epsilon$ , используемую при коррекции.

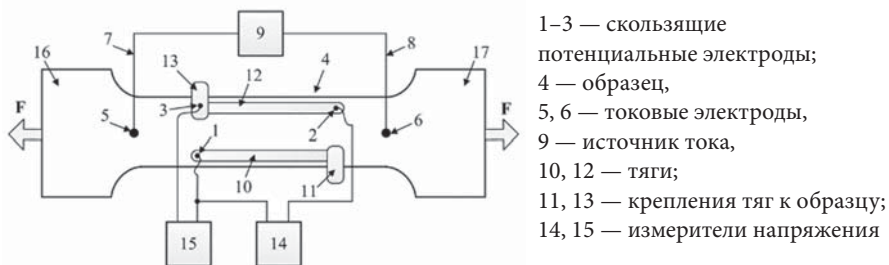


Рис. 1. Схема измерения

### Литература

1. Zhang S. J., Zhou C., Xia Q. X., Che S. M. Quantification and Characterization of Full Field Ductile Damage Evolution for Sheet Metals Using an Improved Direct Current Potential Drop Method // *Experimental Mechanics*, 2015, № 3.

*М. В. Ковалев, студ.; рук. В. П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ БЕЗ ВЫВОДА АГРЕГАТОВ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Одной из главных причин разрушения крепежных элементов являются усталостные трещины. Согласно нормативным документам, основными методами контроля усталостных трещин резьбовых крепежных элементов являются визуальный и акустический методы. Однако эти методы позволяют проводить контроль только во время регламентного технического обслуживания агрегатов с остановкой работы агрегата. В данной работе предлагаются методы контроля во время эксплуатации без вывода агрегата из работы.

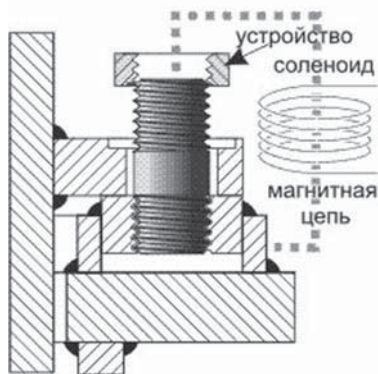
Объектом исследования выбран гидроагрегат 2-го блока Саяно-Шушенской ГЭС. При попытке вывести агрегат из эксплуатации на фоне снижения мощности произошел резонанс с увеличением амплитуды вибрации, что привело к разрушению шпилек по усталостным трещинам [1]. У работников ГЭС отсутствуют средства и методики контроля, позволяющие установить состояние крепежа во время работы турбины.

На Рис. 1 показана предлагаемая схема контроля шпильки гидроагрегата магнитным методом. Разработанное автором устройство (патенты РФ № 198523 и № 198572, июль 2020) навинчивается на шпильку вместо гайки. Вибрация от работы машин в данном случае не является серьезным мешающим фактором.

В работе представлены результаты конечно-элементного моделирования предлагаемой схемы магнитного контроля для конкретной модели турбины ГЭС, которые позволяют сформулировать технические требования к расположению преобразователей Холла, обеспечению необходимого магнитного потока для надежного выявления дефектов, а также получить соответствующие калибровочные характеристики.

### **Литература**

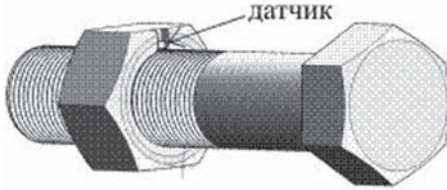
1. **Акт технического расследования причин аварии**, произошедшей 17 августа 2009 года в филиале Открытого Акционерного Общества «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». Федеральная служба по экологическому, техническому и атомному надзору. 2009, с. 141



**Рис. 1.** Схема контроля шпильки гидроагрегата

*М. В. Ковалев, студ.; рук. В. П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ И ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**



**Рис. 1.** Принципиальная идея технического решения

Датчик размещается в специальной гайке (см. рисунок 1), которая удерживает его строго в требуемом положении, а накручивание гайки по резьбе обеспечивает траекторию движения датчика вдоль контролируемой поверхности. Так как угол поворота по резьбе жестко связан с поступательным движением вдоль резьбы, то это обеспечивает однозначное соответствие угла поворота и поступательного перемещения, что позволяет перемещение направляющей детали по резьбе связать с координатой датчика в 3D пространстве. Вращение по резьбе можно преобразовывать в необходимую траекторию движения датчика. Важно, что жестко увязанные между собой поступательное и вращательное движения позволяют проводить процесс контроля при разных скоростях вращения; при этом линейные и угловые координаты датчика связаны однозначно. Кроме того, жесткая связь между движениями не предполагает необходимости в равномерном движении, что важно при контроле массивных объектов контроля, когда пуск и останов вращения связаны с большими моментами инерции.

Автором разработаны и защищены патентами РФ № 198572, № 99572, № 199771, № 200569, № 200608 ряд устройств для вихретокового контроля внешней и внутренней резьбы, а также для контроля поверхности осей, гладких и ступенчатых валов, цилиндрических отверстий, других объектов, имеющих форму тел вращения.

В работе исследовалась конечно-элементная математическая модель процедуры вихретокового контроля для некоторых случаев реализации технического решения. Полученные результаты позволяют сформулировать технические требования к проектируемому устройству и выбору используемого датчика, оценить возможности выявления и оценки параметров возможных дефектов.

Ручной вихретоковый контроль объектов, имеющих гнутые поверхности, в частности резьбы, является достаточно трудным. Основная идея решения проблемы состоит в том, чтобы использовать резьбу самого объекта контроля, либо резьбу опорного звена устройства (в случае контроля объектов, имеющих форму тел вращения), для создания траектории движения измерительного инструмента.

Е. В. Гарнышова, асп.; Е. В. Измайлова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

## ПРИМЕНЕНИЕ ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА

Целью исследования являлся контроль трубопроводов с разными толщинами осадка и без, используя метод свободных колебаний и расчетно-программный комплекс ANSYS [1]; задачей — определение частот собственных колебаний участка трубы с разными толщинами осадка.

Участок трубы представляет из себя трубу длиной 1500 мм, внешним диаметром трубы 300 мм и внутренним — 270 мм. Также по обе стороны от трубы смоделированы два фланцевых соединения длиной 50 мм, с внешним диаметром 400 мм и внутренним — 270 мм. При расчете фланцевые соединения служили опорными точками всей конструкции.

В ANSYS материалом трубы являлась структурная сталь (StructuralSteel) с плотностью  $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$ , коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$  и модулем Юнга (модуль упругости)  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ .

В ANSYS для нахождения областей частот, характерных для дефектов (материал — бетон (Concrete)), был проведен расчет частот собственных колебаний трубы с несколькими толщинами осадка (Рис. 1).

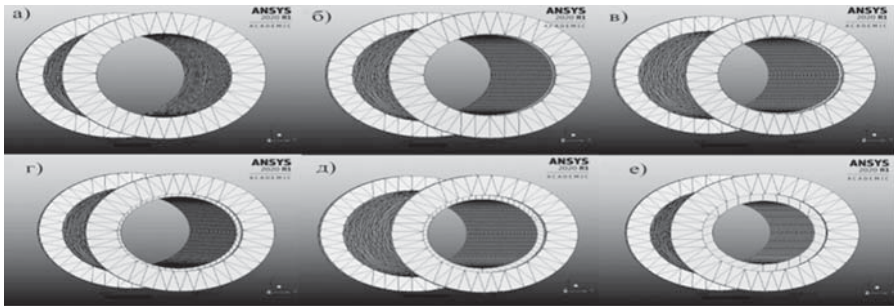


Рис. 1. Результат моделирования участка трубы

На Рис. 1 обозначены участки трубы: а) без дефекта и с разными толщинами осадка — б) 5 мм; в) 10 мм; г) 20 мм; д) 30 мм; е) 50 мм.

Применяя ANSYS, можно моделировать объекты любой формы и вычислять их частоты колебаний, причем с увеличением толщины осадка трубы увеличиваются и частоты ее собственных колебаний [2].

### Литература

1. Измайлова Е. В., Соловьев Д. В. Использование ANSYS для оценки состояния теплообменного оборудования / Материалы XV Всеросс. научно-техн. конф. «ЭНЕРГИЯ-2020». — Иваново: ИГЭУ, 2020. Т. 1. С. 119.
2. Измайлова Е. В., Гарнышова Е. В., Измайлов В. В. Зависимость частоты колебаний поверхности теплообмена от толщины осадка / Тезисы докладов 25й Междунар. науч.-техн. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». — М.: МЭИ, 2019. С. 307.



*А. С. Беляева, асп.; рук. Г. Э. Романова, к.т.н., доц. (НИУ ИТМО)*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ИСТОЧНИКА НА БАЗЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА**

Для научных и прикладных исследований часто требуется применение источника с перестраиваемым спектром. В настоящее время существует несколько способов спектральной перестройки: перестраиваемый лазер; монохроматор совместно с источником широкополосного излучения; светодиоды с узким спектром и лазерные диоды. Однако, эти способы не дают возможности быстро и одновременно управлять перестройкой по количеству спектральных линий, их ширине и положению. В отличие от перечисленных способов, источник на базе акустооптического фильтра (АОФ) позволяет это осуществить [1]. Отсутствие подвижных элементов в оптической системе, малый размер АОФ и выбор оптимальной конфигурации оптической системы позволяют сделать источник компактнее и надежнее по сравнению с аналогами.

Использование акустооптической фильтрации совместно с широкополосным излучением в составе перестраиваемого источника позволит применять его в лабораторных исследованиях и на производстве. Например, для контроля химического состава жидкостей и газов [2], при исследованиях цветового восприятия в офтальмологии [3]. Кроме того, если найти соответствие получаемой спектральной кривой цветовым координатам, то можно проводить точную поверку и калибровку спектральных и колориметрических приборов [4].

В работе рассмотрены особенности организации источника, перестраиваемого по спектру, а также достоинства и недостатки существующих источников, обеспечивающих спектральную перестройку. Выполнен анализ эффективности выделения заданного спектрального диапазона различными способами.

### **Литература**

1. **Machikhin A. S., Khokhlov D. D., Pozhar V. E. et al.** Acousto-optical tunable filter for a swept light source with variable variable transmission function // Proc. SPIE, 2018. V. 108150L. P. 1–6.
2. **Мазур М. М., Судденок Ю. А., Пожар В. Э.** Многоокопные акустооптические фильтры для корреляционной спектроскопии // Оптика и спектроскопия, 2020. Т. 128 (2). С. 284–289.
3. **Ковалевская М. А., Сергеева М. И.** «Цвет апоптоза». Скрининговая стратегия для диагностики ранних стадий первичной открытоугольной глаукомы // Офтальмология, 2017. Т. 14 (4). С. 355–362.
4. **Michal V.** Colorimetry in textile industry. Liberec, CZ.: VÚTS, a. s., 2017. 188 p.

**Направление III**

**БЕЗОПАСНОСТЬ**

**И ИНФОРМАЦИОННЫЕ**

**ТЕХНОЛОГИИ**

**Security and information technology**

---

**Руководитель направления:**

к.т.н., доцент Невский Александр Юрьевич —  
директор инженерно-экономического  
института НИУ «МЭИ»

**Секция 19**  
**ИНФОРМАЦИОННАЯ**  
**И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**Information and economic security**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Минзов Анатолий Степанович*

*Секретарь секции: Агуреев Иван Александрович*

*Ю. А. Седова, студ.; рук. И. В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ**

Наиболее оптимальные модели системы информационной безопасности (СИБ) строятся на соответствии нормативным документам в совокупности с применением методов управления рисками. Такие методы позволяют повысить эффективность СИБ за счет более точного рассмотрения наиболее вероятных угроз для конкретной организации [1]. Кроме того, сертификация по ряду международных стандартов, которая может увеличить доверие потенциальных клиентов к организации, возможна только при внедрении подхода, связанного с управлением рисками.

Однако, несмотря на большое количество преимуществ, у данного метода есть и некоторые недостатки. Проблема заключается в том, что определение ключевых показателей на основных этапах управления рисками осуществляется внутренними экспертами — специалистами по информационной безопасности. Соответственно, присутствует человеческий фактор, и есть большая вероятность ошибочных суждений. В связи с этим для получения более точных результатов необходимо применять дополнительные инструменты формализации.

В качестве такого инструмента может выступать аппарат нечетких множеств. Основным его преимуществом является возможность определить наиболее вероятные риска, опираясь на неопределенные данные. Таким образом, цель работы — разработать методику применения аппарата нечетких множеств в рамках управления рисками.

Планируемыми результатами являются:

- создание методики управления рисками, описывающей особенности и метод применения нечеткой логики на каждом из этапов управления рисками;
- разработка комплекса лабораторных работ для студентов, обучающихся по профилю «Управление информационной безопасностью»;
- создание системы поддержки принятия решений, разработанную на основе нечеткой логики, применение которой упростит процесс управления рисками;
- предложение доказательства достоверности применения аппарата нечетких множеств при управлении рисками.

### **Литература**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности.

*Е. Б. Громов, студ.; рук. С. С. Рыжиков к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ПЭВМ**

Цели: исследование условий, формирования скрытых технических каналов утечки информации, за счёт изменения режимов работы центрального процессора и блока питания между изолированными (физически и электрически) от внешних сетей ПЭВМ, обрабатывающих конфиденциальную информацию.

Современные процессоры являются регулируемыми системами энергопотребления, поэтому нагрузка на процессор напрямую влияет на динамические изменения его характеристики. Регулируя нагрузку на процессор, можно регулировать его энергопотребление и, следовательно:

- контролировать создаваемое магнитное поле преднамеренно запуская и останавливая рабочую нагрузку процессора, генерировать магнитное поле на необходимой частоте и модулировать двоичные данные. Смартфон, расположенный рядом с компьютером, может получать скрытые сигналы с помощью магнитного датчика. Канал утечки может работать, т. к. для кодирования символов «0» и «1» используются частоты 0,25 Гц и 0,5 Гц соответственно.
- контролировать кратковременную частоту переключения БП для, излучения акустического сигнала и модулирования двоичных данных. Это может вызвать механическую вибрацию в катушках, ферритовых сердечниках или изоляционных лентах, конденсаторах. Для кодирования символов «0» и «1» используются частоты 18–20 кГц, т. е. практически неслышные для человека.

Непременным условием существования, скрытого каналов, является наличие в составе изолированной ПЭВМ заранее установленной вредоносной программы. Вредоносное компьютерное ПО может быть установлено путем компрометации цепочки поставок, через сотрудника организации или в процессе установки обновлений.

Ход выполнения работы:

1. Изучение российских и зарубежных нормативно методических документов по защите информации.
2. Исследование изменения режимов нагрузки на центральный процессор и блок питания с целью получения модулированных сигналов.
3. Изучение полученных сигналов в лабораторных условиях.

### **Литература**

1. **Brent Carrara**, Air-Gap Covert Channels, Ottawa, Canada, 2016 — Режим доступа: <https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/35103>

*А. О. Перепелятникова, студ.;*  
*рук. А. Ю. Невский, к. т. н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ ОТ КИБЕРУГРОЗ**

Трендом ряда последних лет является рост числа инцидентов, связанных с целенаправленными кибератаками. Таковые действия в настоящее время приобретают яркую направленность в сторону критической информационной инфраструктуры, от надежного функционирования объектов которой зависит, в конечном счете, безопасность и качество жизни граждан РФ. Энергетическая отрасль в этих условиях приобретает весьма высокий уровень значимости работы объектов, от которой зависят благосостояние, безопасность и здоровье граждан.

В связи с этим приоритетной задачей является повышение уровня защищенности и функционирования информационных систем предприятия, а также реализация комплекса мероприятий для обеспечения информационной безопасности энергетической сферы, особенно с появлением таких объектов, как «цифровая электрическая подстанция».

Вместе с этим, исходя из общей «непрозрачности» или закрытости механизмов безопасности, включенных и используемых в программных средствах защиты информации возникает задача оценки уровня доверия к этим системам. Отсюда целью работы является разработка методики оценки защищенности оборудования и инфраструктуры цифровой электрической подстанции от киберугроз в концепции «Общих критериев» защиты критической информационной инфраструктуры РФ. Реализация методики позволит на основе признанного подхода «Общих критериев» [1] обеспечить выбор необходимого перечня компонентов безопасности для подобного энергетического объекта, а также оценка уровень доверия к ним.

Таким образом, в процессе исследования планируется разработка задания по безопасности для объекта киберфизических систем энергетической отрасли (цифровая электрическая подстанция).

Планируемым результатом исследования является создание совокупности (класса) новых компонентов безопасности, способных описывать требования безопасности для объектов энергетики.

### **Литература**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.

*В. Д. Пряхин, студ.; рук. С. С. Рыжиков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЯВЛЕНИЯ КАНАЛА УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПУТЕМ ВЧ ОБЛУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА**

Совершенствование чувствительности устройств и методик радиомониторинга привело к гипотезе создания нового технического канала утечки информации основанного на высокочастотного облучения (ВЧО) элементов автоматизированного рабочего места (АРМ). При этом за счет переоблучения схем АРМ происходит улавливание высокочастотным приемником моделируемого сигнала. Такая гипотеза требует экспериментальной проверки и разработки стенда в котором обеспечивается моделирование условий создания канала утечки информации и его частотного диапазона и мощности сигнала. Это и определяет актуальность данной работы.

При обработке конфиденциальной информации в технических средствах возможен ее перехват злоумышленником без прямого доступа к обрабатываемому устройству за счет я активных атак, при которых на зависимые от обрабатываемых данных резонаторы целенаправленно воздействуют внешним электромагнитным излучением, так называемый канал ВЧО. Необходимым условием потенциальной реализации подобных атак является наличие в атакуемом устройстве заранее внедренного электронного устройства негласного получения информации.

Целью данной работы является исследование условий, появления канала утечки информации путем ВЧО АРМ, обрабатывающих конфиденциальную информацию. Таким образом, после проведенного исследования и разработок методик, можно будет понять, что данный канал утечки информации нужно использовать более часто чем сейчас. Для выполнения этой цели решаются следующие задачи:

1. Анализ механизмов влияния ВЧО на параметры АРМ и методов обнаружения и идентификации информативных сигналов;
2. Разработка стенда имитации работы воздействия ВЧО на параметры АРМ;
3. Проведение эксперимента и обработка его результатов. Формирование выводов о возможности реализации канала утечки конфиденциальной информации.

### **Литература**

1. **Kinugawa M., Fujimoto D., & Hayash Y.** Electromagnetic Information Extortion from Electronic Devices Using Interceptor and Its Countermeasure. IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2019(4), 62–90.

*А. В. Зеленков, студ.; рук. А. С. Минзов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ**

В настоящее время управление рисками информационной безопасности представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений менеджмента в области защиты информации. Его основная задача — объективно выявить и оценить наиболее значимые для бизнеса риски и выработать политику снижения или избежания этих рисков основываясь на принципе «разумной достаточности». Однако, существующие методики управления рисками не предусматривают оценки погрешностей определения параметров рисков из-за неопределенности их параметров и, в первую очередь, оценок угроз и возможных ущербов [1]. Это увеличивает риски принятия решений и требует совершенствования алгоритмов управления рисками.

Существует два подхода к оценке погрешностей определения параметров рисков:

1. На основе сравнения значений с некоторой эталонной моделью. Этот подход труден в реализации эталонных моделей.
2. На основе определения влияния изменчивости параметров модели рисков (угроз, уязвимостей и активов) на конечные результаты.

Это возможно реализовать путем имитационного моделирования погрешностей исходных данных и оценкой их влияния на параметры рисков информационной безопасности.

Второй подход является более перспективным и будет практически реализован в имитационной модели. Моделирование будет проведено на типовой модели организации.

Возможен также и подход к повышению точности измерений параметров рисков за счет применения нечетких множеств, но при этом возникает не менее сложная задача создания системы доказательств о снижении погрешности конечных параметров оценки рисков.

Результат исследования будет представлять собой алгоритм вычисления влияния погрешностей исходных данных на параметры интервалов оценок рисков, предотвращенных ущербов и затрат на меры контроля и управления.

### **Литература**

1. **Минзов А. С., Невский А. Ю., Баронов О. Р.** Управление рисками информационной безопасности: Монография / Под ред. Проф. А. Минзова. — М.: ВНИИгеосистем, 2019. — 110 с.: ил.



*П. М. Крутова, студ.; рук. А. Ю. Невский, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В настоящее время обеспечение безопасности информационных (цифровых) активов в любой организации воспринимается в качестве неотъемлемой части надежного функционирования ее информационной системы. Но в ряде источников идут обсуждения того, что возможности и эффективность использования традиционных программных средств защиты информации, типа антивирусов и межсетевых экранов близки к исчерпанию.

Будущее данной работы за использованием средств программно-аппаратной защиты информации, связанных с более продвинутой аналитикой и активным участием операторов в процессах не только с эксплуатации средств защиты, но и обработки получаемых результатов. Но полные версии подобных продуктов практически недоступны для организаций с малыми бюджетами ни по затратам на приобретение, ни по организации полноценной эксплуатации. Попытки предложить бесплатное программное обеспечение не лишены рисков, так как оно далеко не идеально и уязвимо, что делает сомнительным правильность его работы и усиливает зависимость от квалификации и опыта оператора.

Выходом из сложившейся ситуации может быть применение метода компьютерного моделирования, позволяющий реализовать объект защиты (систему) в форме их алгоритмического описания с присущими ей свойствами и в динамике изменения их во времени. Таким образом, целью работы является разработка методики применения средств компьютерного моделирования при оценке защищенности информационных систем.

Планируемыми результатами исследования являются:

- разработка сканера безопасности на основе open source — решения, выполняющий расширенный перечень задач, а также предложить методику его применения при оценке защищенности информационных систем;
- разработка методики оценки защищенности на основе сканера безопасности, включающая его структуру и описание основных механизмов проведения сканирования информационных систем, а также настройку дополнительных возможностей.

### **Литература**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2008 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий».

*Д. А. Лисиченко, студент;  
рук. А. Ю. Невский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЛУЖБЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ**

Интенсивное развитие информационных технологий привело к их повсеместному применению в качестве эффективного инструмента ведения хозяйственной деятельности во всех областях экономики. Так как современные информационные системы хранят в себе ценную для владеющих ими организаций информацию, они требуют постройки вокруг себя системы информационной безопасности.

Создание системы информационной безопасности всегда начинается с проектирования структуры информационной безопасности, которая включает специалистов ИТ и ИБ-отделов. При этом большая часть функций с развертыванием систем управления информационной безопасностью обычно осуществляется ИТ-специалистами, а методология защиты, ТЗ и другая документация, а также функции контроля системы ИБ осуществляется специалистами отдела безопасности. Количество сотрудников определяется трудоемкостью выполняемых работ, используемыми нормативными документами по защите и другими ограничениями. Такая неопределенность привела к тому, что до настоящего времени отсутствуют методики и рекомендации по обоснованию структуры служб ИБ. Это и определяет актуальность настоящего исследования.

Целью работы является применение процессного подхода [1] для разработки методики классификации и анализа информации о персонале ИТ-отделов и служб информационной безопасности для обоснования структуры служб, функционального разделения обязанностей и степени их дублирования на основании существующих профессиональных стандартов [2] в области ИБ и ИТ и лучших практик в соответствующих областях.

Планируемым результатом исследования является создание комплекса диаграмм, построенных с помощью нотации IDEF0, математических моделей и рекомендаций по их применению, которые позволят руководству предприятий адекватно оценивать степень укомплектованности служб ИБ и ИТ персоналом на всем протяжении деятельности и развития организации исходя из сведений о защищаемых активах, требований нормативных актов и структуры системы защиты информации.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2012** Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология.
2. **Профессиональный стандарт министерства труда РФ 06.033** Специалист по защите информации в автоматизированных системах.

*С. А. Раковский;*  
*рук. А. С. Минзов, д.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕДЕКЛАРИРОВАННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛАХ НА ЯЗЫКЕ PYTHON**

Python является одним из самых популярных языков программирования. Один из факторов, способствующий этому — низкий порог вхождения. Но простота языка — работа большого пласта слоёв абстракции, и мало кто задумывается, как устроен движок языка программирования, кто отвечает за то, что скачиваемый из PyPi (The Python Package Index, открытого репозитория пакетов) модуль не несет в себе вредоносной нагрузки. Инциденты с загрузкой в PyPi вредоносного кода уже были, один из самых популярных способов — надежда злоумышленника, что пользователь ошибется при вводе названия модуля: `tmpru` вместо `tmpru`, `virtualnv` вместо `virtualenv`.

Цель данной научной работы — создание решения по автоматизированному поиску вредоносных паттернов для Python. Представлены два подхода написания правил обнаружения: на основе синтаксического дерева и на основе трассировки исполнения. Оба подхода разбивают код на базовые блоки, которые подвергаются оценке на наличие подозрительных паттернов, последние в определенных сочетаниях считаются вредоносными. В случае с синтаксическим деревом анализ производится статическим методом, в то время трассировка исполнения создает ограниченное дерево, состоящее только из блоков, которые были пройдены в ходе исполнения программы. Оба решения имеют свои преимущества и недостатки, сопряженными со скоростью работы, покрытием кода, стойкостью к различным методам обфускации, поэтому их стоит рассматривать совместно.

Результатом научной работы является программный комплекс, который может находить в загруженных в него PyInstaller исполняемых файлах, исходниках и скомпилированном байт-коде подозрительные паттерны, являющиеся индикацией вредоносных возможностей программы. Данный комплекс может быть поставлен на поток для изучения модулей, которые размещены в PyPi и других репозиториях.

### **Литература**

1. **T. O'Connor**, *Violent Python: A Cookbook for Hackers, Forensic Analysts, Penetration Testers and Security Engineers*, Syngress, 2013.
2. **J. Seitz**, *Black Hat Python: Python Programming for Hackers and Pentesters*, No Starch Press, 2015.

*А. В. Толмачев, студ.;  
рук. С. С. Рыжиков, преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ПЭМИ ДЛЯ СТАНЦИОНАРНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Большая часть информации обрабатывается посредством персональных компьютеров и других различных технических средств (ТС). Из-за того, что сведения могут содержать различные данные, круг лиц, желающих заполучить ту или иную информацию нелегальным путем, меняется в соответствии с ценностью информации [1].

Одним из направлений обеспечения информационной безопасности объектов информатизации (ОИ) является защита конфиденциальной информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) [2].

Данная работа предусматривает расчет специального показателя — зоны R2, т. е. требуемого радиуса вокруг средств вычислительной техники (СВТ), где с помощью специализированного разведывательного приемника возможен перехват ПЭМИ от СВТ и последующая расшифровка содержащихся в них конфиденциальной информации, т. е. зона, в которой отношение информационный сигнал/помеха превышает нормированное значение [3]. При этом в работе мы будем использовать средства пассивной защиты, и рассматривать зависимость зоны R2 от типа интерфейса, длины кабеля, а так же контрастности и цветовой гаммы монитора.

Таким образом, исследование заключается в сравнение интерфейсов при разной длине провода и использовании специальных световых спектров, а также выборе минимальной зоны R2, для каждого из представленных интерфейсов (VGA).

В данный момент проведено инструментальное измерение по исследованию размеров зоны R2 для интерфейса VGA, а именно влияние длинны провода интерфейса на уровень сигнала.

### **Литература**

1. **Толмачев А. В.** ВКР Бакалавра по теме: Оценка защищенности информации на АРМ по каналу ПЭМИ при использовании мультипортовой видео карты. 2016 г. — 44 с.
2. Временная методика оценки защищенности основных технических средств и систем, предназначенных для обработки, хранения и/или передачи по линиям связи конфиденциальной информации
3. **Хорев А. А.** Способы и средства защиты информации. — М.: МО РФ, 2000. — 316 с.

*О. В. Ильенко, студ.; рук. С. В. Попов, к. т. н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ КИБЕРУЧЕНИЙ**

В настоящее время большинство организаций при обеспечении своих бизнес-процессов полагаются на современную информацию, данные, сети и системы телекоммуникаций, а следовательно — работают в киберпространстве. Это накладывает определенные обязательные меры по поддержке и анализу проводимых операций. В условиях неблагоприятных обстоятельств необходимо оперативно реагировать на возникающие инциденты. Однако многие компании не осуществляют действия, направленные на определение того, удовлетворяют ли установленные в организации меры по реагированию на инциденты необходимым требованиям.

Для устранения данной проблемы существуют киберучения. Они предусматривают выполнение различных сценариев по моделированию реакции подразделений организации на инцидент. Это представляет собой тренировку персонала в случае выявления инцидентов, предусматривающую регистрацию и реагирование на инцидент, а также дальнейшие расследования и анализ причин его возникновения. Киберучения направлены на оценку воздействия на критические системы и данные, от которых зависит работа компании в целом.

В ходе проведения киберучений выполняется проверка работоспособности политик, инструкций, правил обработки инцидентов, знаний сотрудниками своих обязанностей и умений грамотно действовать в критических ситуациях.

Целью исследования является: разработка методики проведения комплексных киберучений.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- 1) разработать сценариев угроз;
- 2) составить описание угроз и методов проведения киберучений
- 3) выработать рекомендации по совершенствованию исследуемых бизнес-процессов и повышению квалификации персонала.

В процессе определения порядка проведения тренировок приводятся их структура, примеры сценариев, планов реагирования на инциденты, форматов наблюдения и отчетности, а также других инструментов, облегчающих те или иные сценарии киберучений.

### **Литература**

1. The Mitre Corporation [Электронный ресурс] / Cyber Exercise Playbook; Jason Kick — Электрон. дан. — М.: Wiesbaden, 2014 — <https://www.mitre.org/publications/technical-papers/cyber-exercise-playbook>

*В. А. Стрижков, студент;  
рук. П. Б. Хорев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIEM-СИСТЕМ**

Применение SIEM-технологий является перспективным направлением в области защиты информации. Основной целью построения и функционирования SIEM-систем, где SIEM означает управление информацией и событиями безопасности, является значительное повышение уровня информационной безопасности в информационной инфраструктуре за счет обеспечения возможности в режиме, близком к реальному времени, манипулировать информацией и осуществлять проактивное управление инцидентами и событиями безопасности [1].

«Проактивный» означает «действующий до того, как ситуация станет критической». Проактивное управление инцидентами и событиями безопасности основывается на автоматических механизмах, которые используют информацию об истории анализируемых событий и прогнозе будущих событий, а также на автоматической подстройке параметров мониторинга событий к текущему состоянию защищаемой системы [2].

Цель работы — это исследование механизмов упреждающего воздействия по предотвращению инцидентов информационной безопасности при их мониторинге в SIEM-системе. Это позволит оценить реальные возможности проактивных методов защиты по предотвращению или снижению возможного ущерба при реализации инцидента.

Вклад в решение данной проблемы видится в выполнении эффективных процедур корреляции событий, поступающих из различных слоев, а также в обеспечении получения данных обо всех потенциальных критических событиях безопасности. Данный подход ориентируется на инфраструктуру, в которой обработка событий безопасности отличается высокой интеллектуальностью, масштабируемостью и многоуровневостью. В этих условиях вероятнее всего реализовать упреждающее управление безопасностью, а также надежный и устойчивый сбор данных о событиях.

Разработка методов применения технологий проактивной защиты, в SIEM-системе является актуальной научной задачей, определяющей новые направления исследований в области информационной безопасности.

### **Литература**

1. **Miller D. R., Harris Sh., Harper A. A., VanDyke S.** Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. McGraw–Hill Companies. 2011. 430 p.
2. **Котенко И. В., Воронцов В. В., Чечулин А. А., Уланов А. В.** Проактивные механизмы защиты от сетевых червей: подход, реализация и результаты экспериментов // Информационные технологии, № 1, 2009. С. 37–42.

*Сикан А. А., студентка;  
рук. Баронов О. Р., к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ КОММЕРЧЕСКОЙ ТАЙНЫ В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

В настоящее время не существует единой методики классификации защиты коммерческой тайны в корпоративных информационных системах. В связи с этим тема работы является актуальной.

Основная идея проекта заключается в описании того, как объединить методику создания системы защиты коммерческой тайны в корпоративной информационной системе и нормативно-правовые документы ФСТЭК России для классификации защищенности коммерческой тайны в корпоративной информационной системе.

Цель работы заключается в разработке методики защиты коммерческой тайны в распределенной корпоративной информационной системе в соответствии с нормативно-правовыми документами по защите коммерческой тайны [1] и стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ нормативно-правовой документации по организации защиты коммерческой тайны в корпоративной информационной системе.
2. Анализ актуальных угроз и уязвимостей безопасности на основе описательной модели корпоративной информационной системы.
3. Анализ перечня сведений, подлежащих засекречиванию и определение класса защищенности корпоративной информационной системы на основе уровня возможных и допустимых потерь, связанных с коммерческой тайной.
4. Разработка методики классификации защищенности коммерческой тайны в корпоративной информационной системе.

Таким образом, разработанную методику по защите коммерческой тайны в корпоративной информационной системе можно будет использовать как совокупность основных правил по обеспечению безопасности от утечки конфиденциальных сведений предприятия по корпоративной сети.

### **Литература**

1. Федеральный закон «О коммерческой тайне» от 29.07.2004 N 98-ФЗ (последняя редакция).

*П. А. Макаров, студ.;*  
*рук. О. Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМ ЗАЩИТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ОТ КИБЕРАТАК**

Кибератаки на веб-приложения могут привести к утечкам данных, а также к несанкционированному доступу к приложению. Злоумышленник может получить контроль над веб-приложением, а в некоторых случаях и полный контроль над сервером веб-приложения, что ставит под угрозу локальную сеть организации [1]. В 9 из 10 веб-приложений злоумышленники могут проводить атаки на пользователей. Более 80% уязвимостей содержатся в коде приложения, каждая пятая уязвимость имеет высокий уровень риска [2]. Поэтому данная сфера нуждается в разработке научно-методического обеспечения обучения технологиям защиты.

Для этого ставятся задачи анализа текущих уязвимостей, средств злоумышленника и технологий проведения атак, а также возможностей и средств их предотвращения. Это позволит повысить эффективность учебного процесса, улучшить защиту информационных систем, а также обезопасить непосредственно пользователей систем.

Исследование заключается в создании научно-методических материалов обучения использованию баз данных уязвимостей и материалов открытого проекта обеспечения безопасности веб-приложений (OWASP), обучения технологиям и защитным мерам по противодействию атакам на веб-приложения. Материалы должны содержать практические рекомендации по защите от атак внедрения SQL-инъекций, инъекций команд, инъекций кода, по предотвращению XSS, должны быть рассмотрены меры предотвращения атак CSRF, SSRF, открытого перенаправления, обхода каталога и атак на сессии. Материалы должны содержать анализ менеджмента сессий, современных методов аутентификации, а также рекомендации по использованию межсетевых экранов веб-приложений.

Чтобы исключить возможность распространения атаки на сеть организации, лабораторные работы будут проводиться в виртуальной среде. Виртуальные машины будут соединены виртуальным сетевым адаптером.

### **Литература**

1. **OWASP**. Unrestricted File Upload [Электронный документ], ([https://owasp.org/www-community/vulnerabilities/Unrestricted\\_File\\_Upload](https://owasp.org/www-community/vulnerabilities/Unrestricted_File_Upload), дата обращения: 29.10.2020).
2. **Positive Technologies**. Positive Research 2020 [Электронный документ], (<https://ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/positive-research-2020-rus.pdf>, дата обращения: 29.10.2020).



*А. С. Яситников, студент;  
рук. О. Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

В современном мире вопросы обеспечения конфиденциальности передаваемой информации, а также контроля целостности полученных данных и подлинности отправителя является критически важным при построении безопасных компьютерных систем [1]. Статистика показывает, что отсутствие криптографической защиты информации приводит к утечкам учетных данных, которые, например, могут содержать пароли в открытом виде, а, следовательно, и к компрометации системы в целом. Поэтому ставится цель исследования — разработка научно-методического обеспечения обучения технологиям криптографической защиты информации с использованием комплекта учебного оборудования SECURITY-CISCO-C.

Разработанные лабораторные работы для обучения технологиям криптографической защиты информации, в ходе выполнения которых студенты научатся использовать алгоритмы шифрования для сокрытия содержимого файла с применением OpenSSL, использовать алгоритмы хеширования для подтверждения неизменности файла с применением OpenSSL, применять электронную цифровую подпись для проверки авторства и неизменности файла, создавать центр сертификации и применять другое готовое ПО для решения криптографических задач, позволят улучшить учебный процесс и безопасность организации в целом.

Для достижения цели исследования будут решены следующие задачи:

1. Анализ требований профессиональных и образовательных стандартов по подготовке бакалавров в области обеспечения информационной безопасности с использованием криптографических методов и способов защиты информации.
2. Рассмотрение криптографических алгоритмов и протоколов обмена информации, доступных в SECURITY-CISCO-C, для разработки соответствующих лабораторных работ.
3. Практическая реализация научно-методического обеспечения обучения студентов в виде лабораторных практикумов

Результаты данной работы могут быть использованы для проведения занятий на кафедре БИТ для студентов, обучающихся по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность».

### **Литература**

1. The Role of Cryptography in Information Security [электронный ресурс] / URL: <https://resources.infosecinstitute.com/topic/role-of-cryptography/>(дата обращения 20.10.2020 г.)

*Н. О. Сергеев, студ.; рук. С. С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИЗУАЛЬНОГО МИКРОФОНА С ЦЕЛЮ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Традиционный акустооптический канал утечки информации («лазерный микрофон») предусматривает зондирование лазерным лучем некоторой поверхности, подверженной микровибрациям при воздействии на нее акустического сигнала. Одним из недостатков этого канала является возможность обнаружения самого факта лазерного зондирования. Этого недостатка лишен так называемый «визуальный микрофон» (пассивный акустооптический канал утечки информации), который предусматривает восстановление звука из зарегистрированного видеоизображения. Сам принцип восстановления звука из зарегистрированного изображения заключается в следующем. Когда звуковая волна взаимодействует с некоторым объектом, она заставляет поверхность этого объекта обратимо деформироваться. В зависимости от различных условий (сила звука, масса объекта и пр.) объект может либо незначительно перемещаться под воздействием на него звукового давления (вертикальные ленточные жалюзи), либо его поверхность будет деформироваться под воздействием звуковых волн. В обоих случаях поверхностные колебания объекта могут содержать полезную информацию. Данная информация может быть использована для восстановления звука и применена в корыстных целях злоумышленниками [1].

Цель данной работы заключается в исследовании условий существования пассивного акустооптического канала утечки информации путем моделирования параметров визуального микрофона. Для выполнения данной цели решаются следующие задачи:

1. Изучение российских и зарубежных нормативно методических документов по защите информации.
2. Исследование условий существования пассивного акустооптического канала утечки информации с целью защиты информации.
3. Исследование параметров визуального микрофона, влияющих на разборчивость речи

### **Литература**

1. Abe Davis, Michael Rubinstein, Neal Wadhwa, Gautham J. Mysore, Fredo Durand, and William T. Freeman. 2014. The visual microphone: passive recovery of sound from video. ACM Trans. Graph. 33, 4, Article 79 (July 2014), 10 pages. Version: Author's final manuscript.

*А. К. Бенев, студ.;*  
*рук. И. В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ DLP-СИСТЕМ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ**

Для выявления внутренних нарушений просто перехватывать информацию больше не актуально. Необходимы поисковые алгоритмы и инструменты, которые будут детектировать нарушения с минимумом ложных срабатываний. Такое ПО должно обладать быстродействием и стабильностью [1]. Одним из решений данной проблемы могут быть DLP-системы.

Контроль информационных потоков и перехват данных — только часть функциональности DLP-системы. Чтобы проанализировать массив информации и обнаружить инцидент необходимы корректно настроенные поисковые механизмы [2]. Каждое подозрение на инцидент ИБ, выявленное такой системой, требует обработки аналитиками линий реагирования в соответствии с заранее разработанными инструкциями. При этом чем выше уровень критичности инцидента, тем быстрее он должен приняться в работу аналитиком и быть обработан. Поэтому организации нуждаются в методике выявления и расследования инцидентов утечки информации.

Исследование заключается в создании методики, в которой используются возможности DLP-системы для выявления и проведения расследования инцидентов утечки информации. Методика должна содержать порядок мониторинга и выявления нарушений ИБ, их квалификацию, алгоритмы проведения служебных проверок в случаях внутренних нарушений (несанкционированная печать/запись конфиденциальной информации, вирусное заражение, доступ к ИС под чужой учетной записью и др.).

Результаты работы позволят службам ИБ снизить временные затраты на реагирование и разбор инцидентов информационной безопасности, а также могут быть использованы в качестве учебно-методического пособия при изучении автоматизации процессов реагирования на инциденты ИБ.

### **Литература**

1. Hall, S.; “Data Loss Prevention (DLP): Keeping Sensitive Data Safe From Leaks,” eSecurity Planet, 10 April 2017, <https://www.esecurityplanet.com/network-security/data-loss-prevention-dlp.html/>, дата обращения: 26.10.2020)
2. Управление инцидентами информационной безопасности [Электронный документ], (<https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/dlp-sistemy/upravlenie-intsidentami-informatsionnoj-bezopasnosti/>, дата обращения: 26.10.2020)

*П. А. Иванов, студент; рук. И. В. Капгер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ УГРОЗ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СЕКТОРА**

Моделирование угроз ставит целью выявление условий и факторов, которые приводят или могут привести к нарушению безопасности обрабатываемой информации и процессов функционирования систем и сетей, повлекшее наступление негативных последствий [1].

В случае Интернета вещей моделирование угроз имеет ряд особенностей из-за модели взаимодействия устройств, архитектуры сетей, а также самих устройств, которые имеют специфические уязвимости — как связанные с передачей данных, так и с аппаратно-программной составляющей [2].

Исследование заключается в анализе процесса разработки модели угроз безопасности информации, изучении современного ландшафта угроз безопасности сетей и устройств Интернета вещей и формулировке методики разработки модели угроз, охватывающей особенности архитектуры, технологий взаимодействия и процессов обработки информации.

Для разработки методики был выработан подход к моделированию, включающий в себя этапы классификации систем Интернета вещей и определения их исходной защищенности, классификации угроз, разработки модели нарушителя, классификации типовых уязвимостей, оценки последствий и степени опасности угроз.

Методика включает в себя как порядок разработки модели угроз безопасности систем Интернета вещей, так и необходимые для разработки материалы, а также пример частной модели угроз.

Для каждого защищаемого объекта системы Интернета вещей угроза представляется в виде кортежа. В методике предлагается следующий кортеж для описания угроз ( $T$ ):

$$\text{Угроза } (T) = [\text{Источник } (S), \text{ Уязвимость } (V), \text{ Способ реализации } (W), \text{ Последствия } (E), \text{ Степень опасности } (D)].$$

Ключевой характеристикой для определяемых угроз будет являться степень опасности угрозы, характеризующаяся её вероятностью ( $P$ ) и ущербом от реализации ( $H$ ).

### **Литература**

1. Методика моделирования угроз безопасности информации. Проект: Методический документ ФСТЭК России // [Электронный ресурс]. URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2727> (дата доступа: 22.09.2020).
2. Five Major Challenges When Managing IoT Data // [Электронный ресурс]. URL: <https://theiotmagazine.com/five-major-challenges-when-managing-iot-data-1bb97d890465> (дата доступа: 24.10.2020).

Ю. П. Тарасова студ.;  
рук. С. С. Рыжиков, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМ КОМПЛЕКСОМ СПРУТ-СР

При проведении совещаний, в процессе которых происходит обсуждение информации ограниченного доступа, главным вопросом безопасности является создание и обеспечение надежной системы защиты от утечки речевой информации по акустическому и виброакустическому каналам путем непреднамеренного прослушивания или с использованием специальных технических средств разведки. Эффективное создание и функционирование таких систем защиты возможно лишь после проведения мероприятий по обнаружению технических каналов утечки информации в помещении.

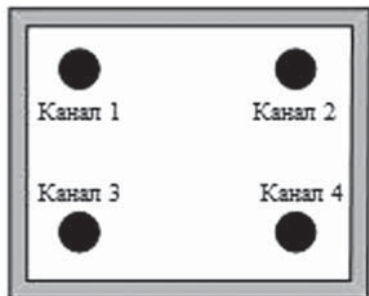


Рис. 1. Участок ограждающей конструкции

Исследование заключается в анализе влияния неоднородности ограждающих конструкций (которая может проявляться в присутствии в стенах помещения строительной арматуры, трещин, неровности покрытия и других факторов) на результаты измерений акустического сигнала и виброускорения на примере участка ограждающей конструкции 2х2 метра с помощью одновременных измерений в четырех контрольных точках с помощью программно-аппаратного комплекса СПРУТ-СР, схема измерения приведена на рис 1.

При анализе результатов измерения акустического сигнала и виброускорения будет учитываться величина разброса одновременных измерений и сравнение его с допустимым значением, рассчитанным в ходе выполнения работы.

Для достижения наиболее точных измерений выбран программно-аппаратный комплекс СПРУТ-СР по причине возможности измерения в один момент времени в четырех контрольных точках на 7 октавах, что исключает вероятность влияния внешних случайных шумов при измерениях.

На основе результатов работы будет произведен расчет необходимого количества контрольных точек измерений акустического сигнала и виброускорения при проведении оценки защищенности помещения.

*А. М. Курбатов, студ.; рук. П. Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АУДИТА СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Обеспечение сетевой безопасности корпоративных информационных систем очень важно для организаций, так как способствует предотвращению несанкционированного доступа, использования, раскрытия, искажения, изменения, исследования, копирования или уничтожения ценной информации. Для достижения более высокого уровня безопасности нужно постоянно отслеживать и исправлять уязвимости информационных систем. Это и предполагает необходимость проведения регулярных аудитов. Сегодня существует большое количество методик и средств проведения аудита сетевой безопасности, но не у всех организаций есть возможность в проведении аудита из-за ограничения затрат на информационную безопасность [1]. В связи с этим актуальность данной работы заключается в разработке рациональной методики аудита сетевой безопасности корпоративных информационных систем в малых и средних производственных предприятиях.

Для этого необходимо проанализировать существующие методы и программно-аппаратные средства, применяемые на различных этапах аудита безопасности корпоративных информационных сетей, для определения их эффективности и оценки возможности использования в корпоративных информационных системах малых и средних производственных предприятий.

При выполнении работы будут решаться следующие задачи:

1. Анализ методик проведения аудита сетевой безопасности.
2. Анализ программно-аппаратных средств, используемых при проведении аудита сетевой безопасности.
3. Оценка эффективности применения существующих методов и средств проведения аудита сетевой безопасности в информационных системах малых и средних производственных предприятиях.
4. Определение методики проведения аудита сетевой безопасности в малых и средних производственных предприятиях.

### **Литература**

1. **Скабцов Н.** Аудит безопасности информационных систем. Питер СПб, 2018.

*С. Д. Вареников, студ.; рук. И. В. Писаренко, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОАКТИВНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ DESCPTION**

С развитием информационных технологий злоумышленники перешли к использованию более современных и сложных принципов атаки, таких как АРТ (Advanced Persistent Treat — целевая кибератака) и Zero-day (использование уязвимостей нулевого дня).

Решения класса Desception предназначены для обнаружения активности злоумышленника в корпоративной сети при помощи создания ложных данных имитирующих информацию, приложения, соединения, конечные точки, пользователей, серверы, элементы сети и другие компоненты инфраструктуры.

Пытаясь воспользоваться ложной уязвимостью системы, сгенерированной при помощи технологии Desception, злоумышленник детектируется при попадании на ловушку (HoneyPot — ресурс, представляющий собой приманку для злоумышленников, состоящий из компонента сети, программы или информации, которые вместе имитируют поведение реальной системы, являющейся частью сети) задолго до того, как он достигнет своей цели. Ловушки способны не только информировать центр управления о злоумышленнике, но и выполнять запись системных действий. Это позволяют сдерживать злоумышленника в процессе реализации целевой атаки, нарушать её ход и перенаправлять вектор в сторону пустых ресурсов, обнаруживать задействованные узлы и технологии атаки.

Основная сложность в применении технологии Desceptions — создание комплекса ловушек и приманок в инфраструктуре. Рекомендуется распространить приманки на не менее чем 70% рабочих станций или серверов при этом наделив их достаточной степенью достоверности. Злоумышленник, находясь в системе, может отличить реальную уязвимость от фальшивой, что не позволит выявить его нахождение в системе и даст возможность добраться до критичных информационных ресурсов.

Планируемым результатом выполнения работы является создание лабораторного комплекса с использованием лучших практик, включающий в себя элементы корпоративной сети (рабочие станции, сервера, базы данных) в виртуальной среде VMware для обучения студентов моделированию системы при помощи технологии Desception, созданию ловушек, ложных потоков данных и противодействию злоумышленнику в ходе целевой кибератаки.

*Р. Р. Янсаева, студ.;  
рук. А. С. Минзов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ**

Построение эффективной системы управления информационной безопасностью (СУИБ) в условиях ограниченности ресурсов, с учетом ценности активов, их уязвимостей и вероятных угроз информационной безопасности, а также выбор адекватных защитных мер, должны основываться на результатах анализа рисков ИБ [1].

Оценка эффективности любой системы является важным этапом её разработки, внедрения и эксплуатации. Существующие концепции создания СУИБ, определенные по ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001, подобная оценка не предполагается. Считается, что процедура моделирования рисков ИБ является вполне достаточной, чтобы построить модель защиты информации адекватной определенным и оцененным рискам ИБ.

Отсюда целью исследования является описание и разработка модели, позволяющей учитывать различные факторы, влияющие на риск, определять возможные зависимости между ними, выбирать различные стратегии управления и находить рациональные решения по созданию СУИБ и на основе имитационных моделей получить результаты эффективности защитных мероприятий при использовании различных нормативных документов по защите информации.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих моделей управления рисками и выделить из них ту, что можно использовать в имитационной модели.
2. Разработать модель оценки влияния погрешностей в определении параметров рисков (угроз, уязвимостей и ценности информационных активов) на обобщенные результаты моделирования параметров рисков.
3. Подготовить исходные данные, провести эксперимент по имитационному моделированию сценариев угроз и собрать статистику, в которой определены параметры оценки эффективности различных стратегий обработки рисков.

Реализация проекта позволит сократить трудоемкость по обеспечению защиты информации информационных объектов, обеспечит поддержку принятия решений специалистами службы безопасности при планировании расходов на защиту информации, позволит своевременно и эффективно развивать систему защиты и повысит эффективность бизнеса в целом.

### **Литература**

1. Милославская Н. Г., Сенаторов М. Ю. Управление рисками информационной безопасности // М.: Горячая линия-Телеком, 2014.



*Т. Г. Гегечкори, студентка;  
рук. А. С. Минзов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ МЕТОДИКИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Существующие концепции защиты информации ограниченного доступа в информационных системах обработки персональных данных, (ИСПДН), государственных информационных системах (ГИС) и критических информационных инфраструктурах (КИИ), реализованные в нормативных документах ФСТЭК, основаны на классификации этих систем по уровню их защищенности. При этом, каждый класс защищаемой информационной системы имеет более 10 групп в значительной степени совпадающих для разных тайн требований по обеспечению конфиденциальности, целостности и доступности информации. Таким образом, главное отличие трех подходов к защите информации в ИСПДН, ГИС и КИИ заключается в методиках определения класса защищенности информационных систем (ИС). Это позволяет выдвинуть гипотезу по созданию единой методологии защиты информации в ИС с различной информацией ограниченного доступа на основе единых критериев оценки угроз и масштабов их последствий.

Последовательность нахождения решения этой задачи включает следующие этапы:

1. Формализация условий и правил классификации ИСПДН, ГИС и КИИ по степени их защищенности. При этом необходимо учесть, что исходные данные для каждой из этих систем являются разными.
2. На основе полученных моделей классификации определить какой уровень изменения защитных свойств ИС происходит при понижении или повышении класса её защищенности.
3. Провести сравнение моделей классификации для разных классов защищенности ИС и предложить общие для них эквивалентные критерии классификации, основанные на масштабах и последствиях реализации сценариев угроз.
4. Уточнить и расширить классификацию требований по защите информации для каждой группы к единой системе требований к защите информации в каждом классе.
5. Провести верификацию предложенной методики для информации ограниченного доступа и предложить способ классификации защищенности ИС для коммерческой тайны.

Успешное решение этой задачи позволит создавать гарантированную защиту любой информации ограниченного доступа и существенно снизить затраты на её реализацию.

*М. Д. Архипов, студ.; рук. С. В. Попов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТА НА ПРОНИКНОВЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФИНАНСОВО-КРЕДИТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Проведение как внешнего, так и внутреннего теста на проникновение является необходимой мерой для обеспечения информационной безопасности организаций. Отсутствие стандарта к программам и методикам таких исследований со стороны ЦБ РФ затрудняет для финансовой организации принятие решения о том, как правильно их проводить.

Одним из важнейших факторов, влияющих на успешность проведения теста на проникновение, является стандартная методология испытания. Отсутствие стандартных методик проведения теста на проникновение означает отсутствие однотипности [1].

Исследование заключается в разработке методики проведения теста на проникновение, которая будет способствовать совершенствованию существующей системы нулевого доверия в организации, при помощи проведения различных атак, попытках получения доступа к критически-важной информации внутри данной системы доверия и попытках получения доступа к основным конфигурирующим файлам механизмов безопасности. Для тестирования разрабатываемой методики создается виртуальная среда, на которой разворачивается моделируемая типовая система нулевого доверия финансово-кредитной организации, на которой и проводятся все описанные методы атак. Все проводимые испытания осуществляются при помощи внутренних инструментов проведения атак на системы в операционной системе Kali Linux.

Результатами работы является разработанная методика проведения теста на проникновение в информационные системы в финансово-кредитной сфере, которая включает в себя действия по использованию инструментария и вариации разветвлений, по которым пентестеру необходимо будет действовать для корректного продвижения в попытках проникновения в среду испытываемой типовой модели.

### **Литература**

1. Шива Парасрам, Алекс Замм, Теди Хериянто, Шакил Али. Kali Linux. Тестирование на проникновение и безопасность // Питер, 2020. — № 4.

*С. С. Слободенюк, студ.; рук. А. Ю. Невский, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПКАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН И СМАРТ-КОНТРАКТОВ**

В настоящее время закупки являются одним из важнейших инструментов регулирования социально-экономической сферы в региональном и государственном масштабе [1]. Закупка — процесс приобретения товаров (работ, услуг), состоящий из выявления потребности в товаре, поиска и выбора поставщика, заключения и исполнения договора о поставке товара. Государственные закупки осуществляются в единой информационной системе, регулируемой и поддерживаемой правовым, технологическим и информационным обеспечением.

Однако используемые на данный момент информационные технологии не обеспечивают необходимый уровень информационного сопровождения и прозрачности закупок. Отсюда целью работы является создание информационно-логической модели управления закупками на основе технологии блокчейн и смарт-контрактов. Она позволит исключить влияние мошеннических, коррупционных, административных и других решений, влияющих на процесс закупки.

Таким образом, для достижения цели исследования необходимо:

- провести анализ информационного сопровождения закупок и уязвимостей существующей системы;
- разработать информационно-логическую модель управления закупками, основанную на применении технологии блокчейн и смарт-контрактов;
- разработать задание по безопасности технологии блокчейн с применением подхода «Общих критериев» [2].

Планируемым результатом исследования является верифицированная информационно-логическая модель управления закупками на основе технологии блокчейн и смарт-контрактов. Данная модель выведет информационную безопасность на качественно новый уровень, что позволит всему процессу приобретения товаров (услуг, работ) проходить в соответствии с действующими нормами права.

### **Литература**

1. **Косян Н. Г., Милькина И. В.** Блокчейн в системе государственных закупок // E-Management. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blokcheyn-v-sisteme-gosudarstvennyh-zakupok> (дата обращения: 07.11.2020).
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.

*С. В. Бобылева, аспирант (Государственный Университет «Дубна», Дубна); рук. А. С. Минзов, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ» В НАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА»**

Целью этой программы является достижение состояния защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних информационных угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод человека и гражданина, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет и устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации в условиях цифровой экономики. Анализ паспорта программы «Информационная безопасность» показал, что в программе не включены следующие задачи, которые оказывают, на наш взгляд, существенное влияние на конечные результаты:

1. Не определено главное условие реализации программы — **обязательное наличие экономических эффектов**, иначе это будет противоречить основной идее цифровой экономики. Сегодня существуют концепции совместного проектирования информационных и смежных технологий (*COBIT 5.0, ITIL* и др.), направленные на конечные цели функционирования организации, но они требуют научно-методического обоснования.
2. Программа построена по принципу, **«существующая система создания и управления информационной безопасностью вполне обеспечивает потребности цифровой экономики и не требует совершенствования»**. К сожалению, это далеко не так. Практически все отечественные концепции защиты информации не связаны с экономическими оценками эффективности реализации проектов по ИБ.
3. В программе не предусмотрено решение главных вопросов обеспечения информационной безопасности киберфизических систем (КФС) — **создание доверенной среды обмена информацией и управления объектами**. Причем решение этой задачи должно быть также найдено в условиях экономических ограничений и эффектов.

Эти решения не вошли в паспорт программы [1], что существенно увеличивает риски её успешной реализации и потребуют дополнительных усилий в направлении научно-методического обеспечения решения этих актуальных задач.

### **Литература**

1. Паспорт федерального проекта «Информационная безопасность» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» от 04.06.2019 года.

*А. К. Калинина, студ.;  
рук. А. Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ОБЛАЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ В ЕАИС ФТС РОССИИ**

Электронная подпись в облаке (облачная электронная подпись) — это вычислительная система, предоставляющая через сеть доступ к возможностям создания, проверки ЭП и интеграции этих функций в бизнес-процессы других систем. Облачная электронная подпись обладает всеми свойствами ЭП, только хранится не на сертифицированном ключевом носителе или компьютере, а в Интернете — на специализированном защищенном сервере, в облаке. Облачная электронная подпись обладает большими преимуществами, такими как: подлинная мобильность, защита от компрометации наивысшего уровня и производительность.

Технология и внедрение облачной электронной подписи в ЕАИС ФТС России повышает надежность и эффективность данной системы и тем самым составляет актуальную проблему.

Сфера диссертации — научно-исследовательская деятельность. В ходе написания работы на примере единой автоматизированной системы таможенных органов исследуется технология внедрения облачной электронной подписи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать правовое обеспечение использования электронной подписи
2. Проанализировать информационную систему таможенных органов и обосновать необходимость внедрения облачной электронной подписи.
3. Реализовать внедрение облачной электронной подписи в единую автоматизированную информационную систему таможенных органов.

Результатом работы предполагается внесение поправок в нормативные документы Федеральных таможенных органов, анализ единой автоматизированной информационной системы таможенных органов и внедрение облачной ЭП в ЕАИС ФТС России.

### **Литература**

1. Федеральный закон «Об электронной подписи» от 06.04.2011 N 63-ФЗ.
2. Облачная подпись: сближение практики и законодательства [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://roseu.org/article/32> (дата обращения: 06.10.2020)

*Д. Х. Шахбазов, студ.; рук. О. Р. Баронов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ZABBIX В КАЧЕСТВЕ СКАНЕРА БЕЗОПАСНОСТИ**

В связи с тем, что информационные технологии развиваются очень быстро и на рынке появляется множество IT компаний, которые обрабатывают и анализируют информацию. Именно для этого служит инструмент для мониторинга IT систем — Zabbix. Его можно использовать в локальных сетях, а также в сетях с выходом в сеть INTERNET.

В локальных сетях компаний может циркулировать различная информация, в том числе и конфиденциального характера. При малом количестве серверов часто применяются скрипты, написанные под конкретные нужды, но с ростом инфраструктуры такой подход начинает вызывать множество проблем. И тут на помощь приходят уже готовые инструменты, один из которых — Zabbix. Он распространяется по бесплатной лицензии, имеет открытый исходный код, что повышает уровень доверия компаний именно к этому инструменту. Данная система мониторинга имеет множество различных плагинов, одним из которых является Zabbix Threat Control. Данный плагин позволяет отслеживать текущие версии установленного ПО на серверах и сравнивать с диапазоном «не содержит известных уязвимостей» [1].

Отсюда целью работы анализ возможностей и актуальности системы мониторинга Zabbix с плагином Threat Control, а также разработка методических указаний по установке и настройке

Для достижения цели исследования будут решены следующие задачи:

1. Разработка концепции и схемы виртуальной локальной сети.
2. Рассмотрение и анализ актуальности и возможностей системы мониторинга Zabbix с плагином Threat Control.
3. Установка и настройка виртуальной машин по заранее разработанной схеме локальной учебной сети.
4. Установка и настройка системы мониторинга на сервере, а также установка и настройка плагина Zabbix Threat Control

Планируемым результатом исследования является создание совокупности инструкций и рекомендаций по созданию, установке, настройке ИС, для обеспечения мониторинга. Результатом данной работы является готовое решение для различных корпоративных сетей в виде системы мониторинга с сканером безопасности на базе Zabbix.

### **Литература**

1. Zabbix: [Электронный ресурс]: Vulners // URL: <https://www.zabbix.com/ru/integrations/vulners> (дата обращения: 01.11.2020).

*К. В. Латышов, студ.; А. А. Волошин, к. т. н.;  
рук. В. Г. Карантаев, к. т. н. (НИУ«МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

В настоящее время на энергетических предприятиях очень активно идет внедрение цифровых технологий, что становится толчком к обострению вопросов информационной безопасности. В частности, компьютерные атаки могут полностью нарушить функционирование отдельно взятых элементов и даже целых цифровых подстанций. Обеспечение качественного функционирования систем безопасности на сегодняшний день является достаточно обсуждаемым вопросом, как в стране, так и за рубежом [1]. В результате чего подходы к обеспечению информационной безопасности уже достаточно четко отражены, как на уровне отраслевых стандартов, так и на уровне нормативной документации.

Наиболее активно применяются такие средства защиты, как межсетевые экраны, антивирусные программные комплексы, системы обнаружения атак и т. д. Вследствие их применения на ЦПС возникает необходимость учета отраслевой специфики, что, к сожалению, достаточно слабо реализуется на российском рынке. В свою очередь, программное обеспечение, используемое на уровне АРМов и серверов, в данный момент успешно решает ряд задач, которые стоят перед ними. Но несмотря на это остается открытым вопрос, заключающийся в необходимости доказывать отсутствие влияния средств защиты информации на технологический процесс. В целом, на данный момент на каждом этапе жизненного цикла ЦПС необходимо доказывать совместимость средств защиты информации и программно-технических комплексов, на которых строится сама подстанция. Также стоит отметить, что сценарии применения средств защиты ЦПС должны быть интегрированы в отраслевые процессы аттестации или испытаний.

В ходе исследований рассмотрена часть существующих технологий обеспечения информационной безопасности цифровых подстанций, описаны трудности, возникающие при реализации данных подходов и обозначены возможные пути решения имеющихся проблем.

### **Литература**

1. Национальный ИК В5 РНК СИГРЭ «Релейная защита и автоматика». Вопросы обеспечения кибербезопасности систем РЗА и управления в электроэнергетике — URL: [http://cigre.ru/research/commitets/ik\\_rus/b5\\_rus/novosti/kiberbezopasnost/](http://cigre.ru/research/commitets/ik_rus/b5_rus/novosti/kiberbezopasnost/) (дата обращения 06.11.2020).

**Секция 20**  
**ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА**  
**Applied and business Informatics**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Крепков Игорь Михайлович*

*Секретарь секции: Буданова Наталья Александровна*



*И. Е. Токарев, студ.; рук. О. Р. Баронов, к. т. н, доц;  
конс. А. Ю. Модорский (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕШЕНИЙ VOIP В КОРПОРАТИВНЫЙ СЕГМЕНТ СЕТИ**

Экономическое развитие организации приводит к необходимости территориального и функционального расширения. Крупная организация, осуществляющая свою деятельность по всей территории Российской Федерации, вынуждена искать решения для поддержания связи между удаленными филиалами.

Таким решением может послужить внедрение в корпоративную сеть сегмента Voice over IP (VoIP). Сети VoIP позволяют осуществлять телефонные звонки внутри организации без использования подключения к ТФОП. Современные VoIP-сети — это не только аудио- и видеозвонки, но и аудио- и видеоконференции. В таких сетях, используется множество технологий, позволяющих получать доступ в конференцию из внешних сетей, используя MRA [1], подключаться без использования специального программного обеспечения через окно браузера с технологией WebRTC [2], обмениваться текстовыми сообщениями между пользователями по протоколу XMPP [3].

Технологии и возможности, описанные выше, требуют детального изучения. Отсюда следует, что целью работы является создание и систематизация научно-методической базы по вопросам внедрения решений VoIP в корпоративный сегмент сети.

Планируемым результатом является создание совокупности требований к решениям VoIP, в том числе рассмотрение вопросов безопасности сегмента корпоративной сети VoIP, описание лучших практик реализации таких сетей, создание лабораторного комплекса на основе полученных результатов и составленных требований.

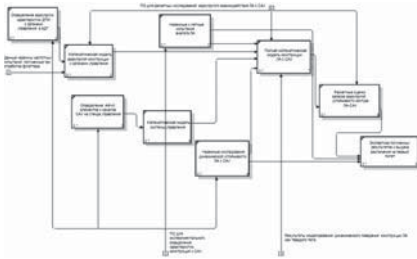
### **Литература**

1. IETF Tools. Статья: Secure Remote Access with L2TP [Электронный документ], URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2888>
2. IETF Tools. Статья: Web Real-Time Communication Use Cases and Requirements [Электронный документ], URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7478>
3. IETF Tools. Статья: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core [Электронный документ], URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6120>

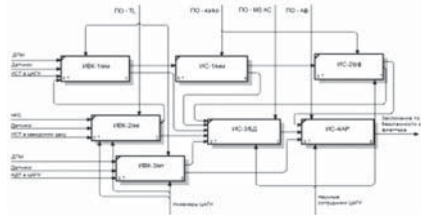
*И. А. Харин, студ.; рук. С. А. Петров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФГУП «ЦАГИ» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОУПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТА С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Обязательным этапом создания современного конкурентного самолета является качественная наземная отработка аэроупругой устойчивости его конструкции с системой автоматического управления (САУ) [1]. Решение этой задачи в значительной степени зависит от совершенства используемой при этом ИИС для расчетно-экспериментальных исследований. На основе функциональной модели процесса (Рис. 1) и информационной модели структуры (Рис. 2) [2] выполнен анализ проводимых в ФГУП «ЦАГИ» исследований. В результате сформулированы предложения по совершенствованию ИИС, обеспечивающие сокращение сроков исследований, повышение достоверности получаемых данных и информационную безопасность (ИБ). Сроки исследований предлагается сократить за счет внедрения в структуру ИИС современных сетевых технологий передачи данных и централизованной базы данных. Достоверность данных рекомендуется повысить путем внедрения: более совершенных аппаратно-программных средств сбора и обработки данных при проведении наземных испытаний конструкций самолетов с САУ; расчетных программ с использованием моделей структуры и аэродинамики с увеличенным числом соответствующих конечных элементов и объемов. ИБ обеспечивается за счет ролевого разграничения доступа к объектам базы данных.



**Рис. 1.** Функциональная модель процесса



**Рис. 2.** Информационная модель структуры

### **Литература**

1. Аэроупругость // М.: Инновационное машиностроение, 2019.
2. Методология SADT и стандарты IDEF

*Е. А. Емельянов, студент; рук. С. А. Петров, к.т.н., доц.*

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЯ**

В работе рассмотрены проблемы реализации высоконагруженной системы для онлайн-обучения.

В 2020 году пандемия коронавируса показала важность наличия у образовательных учреждений платформы для проведения образовательного процесса в формате онлайн. Большой поток учеников привел к тому, что существующие платформы для проведения онлайн-занятий оказались невыгодными для бюджетных образовательных учреждений и ненадежными с точки зрения работы с большим количеством одновременных запросов.

В ходе проектирования платформы были проанализированы существующие сервисы и платформы.

Их достоинства: большой набор возможностей для создания интерактивных курсов, гибкие тарифы оплаты.

Их недостатки: большинство решений являются облачными с оплатой за подключенного пользователя, плохо справлялись с нагрузками в период пандемии, отсутствует возможность влиять на используемые ресурсы.

Для реализации платформы было решено использовать технологии и архитектурные шаблоны, позволяющие повысить устойчивость приложения к нагрузкам. Разрабатываемое решение базируется на хранилище в оперативной памяти Redis, базе данных MySQL, сервере Nginx, модуле для реализации серверной логики с применением языка PHP, frontend-сервере под управлением Next.js и компонентах React.js.

В разработанной мною архитектуре приложения применение Redis позволяет кэшировать данные и результаты вычислений, что снимает нагрузку с базы данных MySQL и сокращает время ответа сервера до 100 мс. Использование frontend-сервера с фреймворком Next.js, использующего асинхронный ввод/вывод позволяет отдавать страницы в 3–4 раза быстрее, чем сервер с рендерингом страниц на PHP.

В настоящее время платформа находится на заключительном этапе разработки.

### **Литература**

1. **Мартин Р.** Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. П.: Питер, 2018.
2. **Ми Р., Фаулер М.,** Шаблоны корпоративных приложений. М.: Диалектика, 2018.

Ц. Дай студ.; рук. М. Н. Кирсанов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ВАРИАНТА РАСПОЗНАВАНИЯ АЛГОРИТМА ХОПФИЛДА

Одним из самых широко распространенных методов распознавания образов является асинхронный алгоритм Хопфилда [1]. Отдельные трудности в работе алгоритма возникают при работе на множестве сложных образов. Примером таких образов являются иероглифы традиционного китайского языка. Алгоритм может быть применен как для специализированных программ-переводчиков по распознаванию печатного текста, так и в управлении роботами, ориентирующимися в среде с указателями на китайском языке. Для отработки алгоритма была составлена программа на языке Maple. Использованы 10 библиотечных образцов (рис. 1, даны шесть образцов и искаженный помехами символ).

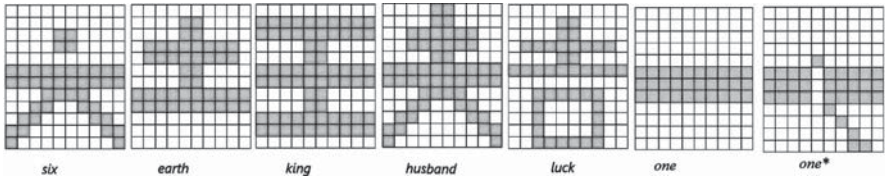


Рис. 1. Библиотечные образцы и искаженный образец «one»

Асинхронность обеспечивала команда отбора нескольких случайных элементов вектора, кодирующего символ для выполнения следующей итерации. Приведем соответствующий фрагмент программы:

```
> for j to K1 do k[j]:=p(); Vz[k[j]]:=Vzz[k[j]]: od,
```

здесь  $p()$  — генератор случайного номера отбираемого для дальнейших итераций элемента,  $Vz$  — вектор для следующей итерации,  $Vzz$  — вектор предыдущей итерации. При синхронном (более быстром, но менее качественном варианте алгоритма,  $Vzz=Vz$ ). Параметр  $K1$  можно менять, отслеживая скорость и качество работы алгоритма. С уменьшением этого параметра увеличивается точность, но резко растет время работы алгоритма. В проведенном эксперименте менялось число пикселей в распознаваемом образце от 9 до 19 (образец «one\*» имеет 9 искажений). Результат показывает, что заметной корреляции времени и числа итераций со степенью искажения нет.

### Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. — Издательский дом Вильямс, 2008.

*П. А. Жуков, студ.; рук. А. А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Информатизация общества является очень важным процессом и современные проблемы привели к значительному увеличению её роли. Но не все сферы жизни общества показали достаточный уровень информатизации. Как показала практика, самой неподготовленной оказалась сфера образования.

Можно назвать множество причин, почему переход на онлайн-обучение был достаточно трудным как для обучающихся, так и для преподавателей, но самой важной из них является отсутствие на рынке комплексного решения в области дистанционного обучения.

Сервис будет иметь следующие функции:

- публикация и проверка домашних заданий;
- электронный дневник;
- онлайн видеоуроки;
- публикация лекций в видео и текстовом формате;
- публикация контрольных работ и тестов, с возможностью автопроверки.

Во время разработки применяются следующие средства: Django (фреймворк [1] для создания серверной части сервиса), HTML+CSS+JS (клиентская часть сервиса) и PostgreSQL (база данных). При размещении на «боевом» сервере применялась многослойная масштабируемая архитектура [2], состоящая из 3-х слоев:

- слой статических данных и балансировки нагрузки (Nginx);
- слой приложения (gunicorn);
- слой базы данных (PostgreSQL).

Данный подход позволяет горизонтально масштабировать систему, что решает проблему выключения сервиса при вертикальном масштабировании, так как вместо физического увеличения размера оперативной памяти сервера или процессорных мощностей, мы добавляем в слой новый сервер с уже установленным ПО, который сразу после включения начинает обрабатывать запросы клиентов.

В настоящее время сервис находится на этапе тестирования, доработки базовых и добавления дополнительных функций.

### **Литература**

1. **Коцюба И. Ю., Чунаев А. В., Шиков А. Н.** Основы проектирования информационных систем. Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2015.
2. **Alex M., Anna R., Steve H.** Python in a Nutshell. Third Edition: O'Reilly, 2019.

*И. А. Тяпкин, студ.; рук. А. А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ JAVASCRIPT БИБЛИОТЕК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ**

Javascript библиотеки являются одной из наиболее предпочтительных платформ для создания современных одностраничных web-приложений. Сравнительный анализ наиболее популярных библиотек приведен в таблице 1.

**Таблица 1.** Сравнение библиотек

	<b>REACT</b>	<b>Vue</b>	<b>Angular</b>
Вид	Библиотека	Библиотека	Фреймворк
Способ обработки шаблонов	JSX	Классический HTML	Расширенная версия HTML
Размер проекта	Средние и крупные	Небольшие и средние	Средние и крупные
Популярность	593 518 web-приложений	354 496 web-приложений	1 117 917 web-приложений
Сложность изучения	Проще Angular, но сложнее Vue	Значительно проще остальных	Займет больше всего времени

В настоящее время лидирующие позиции занимает библиотека React, так как в отличие от огромного фреймворка Angular, React — это небольшая библиотека, и, следовательно, нет необходимости работать по заданному шаблону, ведь гораздо удобнее добавить необходимую библиотеку для дополнительной функциональности. Также Angular сложен и дорог в поддержке старых проектов, это связано с очень частым релизом новых версий, которые бывают не совместимы с более ранними версиями [1]. Если сравнивать React с Vue, то последний окажется меньше по размеру и наиболее простым в обучении. Одно из ключевых различий между двумя библиотеками — способ обработки шаблонов. Vue использует шаблоны с декларативным рендерингом, следовательно, становится менее комфортным в использовании, в отличие от более мощной и гибкой JSX разметки React [2]. Еще одним недостатком является то, что Vue является молодой библиотекой и сложно найти необходимую документацию. React безусловно потребует более сложных реализаций даже для простых задач, но он отлично масштабируется для крупных проектов. Более того, библиотека разрабатывается и поддерживается Facebook, что гарантирует ее долгосрочную поддержку. В заключении хотелось бы отметить, что хорошо подобранная библиотека может значительно облегчить работу и сэкономить время разработки web-приложения.

### **Литература**

1. **Фримен А.** Angular для профессионалов. Спб.: Питер, 2018.
2. **Бэнкс А.** React и Redux: функциональная веб-разработка. Спб.: Питер, 2018.

*В. И. Атаманов., Д. Р. Евдокимова, студ.;  
рук. В. И. Еремеева, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНОГО МРА ПРИЛОЖЕНИЯ ТИПА «СОЦИАЛЬНАЯ СЕТЬ»**

В начале 2000-х интернет стал общедоступным, что привело к глобальному росту числа пользователей. Это привело к появлению нового направления развития сайтов — социальные сети. Как показывают исследования, большинство таких сайтов имели одинаковую тематику.

Проведем сравнительный анализ (Таблица 1) существующих приложений. [1]

Таблица 1. Сравнительный анализ существующих приложений

	<b>Аудитория</b>	<b>Контент</b>	<b>Интерфейс</b>	<b>Активных пользователей</b>	<b>Прибыль</b>
Reddit	от 18 до 34	статьи	разделенный на темы, простой	>50,000,000	265,000,000\$
Twitter	от 25 до 35	короткие заметки	удобный, лаконичный	>1,300,000,000	521,000,000\$
BeOn	от 14 до 25	виртуальный дневник	непонятный, серый	>1,000,000	1,000,000\$

Из данной таблицы можно заметить, что более широкая тематика благополучно влияет на развитие приложения и его прибыль. Следовательно, для успеха приложение должно привлекать молодую аудиторию, иметь простую регистрацию и современный, понятный для пользователя интерфейс.

В данной разработке есть клиентская сторона пользовательского интерфейса (frontend) и программно-аппаратная часть сервиса (backend). Для backend планируется использоваться Php Laravel Framework [2], MySQL и PhpMyAdmin, для Frontend Javascript Vue Framework и Figma Design.

На данный момент готовы следующие модули: Регистрация, Главная страница, Страница пользователя.

### **Литература**

1. **Небыков И. А., Ефимов Е. Г.** Научная статья «Анализ социальных сетей: методы и приложения»
2. **Стаффер М.** Laravel. Полное руководство, 2-е издание, 2020

*П. С. Разумова, студ.; рук. А. А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДАЧИ ЗАЯВОК НА РЕМОНТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБЩЕЖИТИЙ**

В современных условиях автоматизация процессов становится неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Автоматизация — это исключение человеческого фактора из рутинных, повторяющихся процессов. [1]. На сегодняшний день дальнейшее развитие и внедрение современных решений во все сферы жизни является важным шагом для создания комфортных условий, что и определило тему данного доклада.

Проект выполнен в виде Web-приложения. Серверная часть выполнена с использованием скриптового языка программирования PHP и работает под управлением http-сервера Apache. На стороне клиента для формирования веб-страниц используется язык гипертекстовой разметки HTML.

Для придания страницам динамичности используется язык JavaScript и библиотека jQuery. Это позволяет создать более дружелюбный графический интерфейс пользователя.

Веб-приложение предназначено для сотрудников и студентов, проживающих в общежитиях, сотрудников Управления Студенческими Общежитиями, а также предусматривает регистрацию пользователей.

В системе реализовано разграничение функциональности для различных категорий пользователей. База данных содержит список принятых заявок, выполненных заявок и сотрудников и управляется СУБД MySQL.

В заключении необходимо отметить, что использование веб-приложения в сфере технического обслуживания общежитий имеет множество преимуществ, делая процесс подачи и обработки заявок намного быстрее, проще и надежнее, исключая вероятность утраты/изменения информации при обработке полученных заявок человеком. В дальнейшем веб-приложение может быть внедрено для общежитий НИУ «МЭИ».

### **Литература**

1. **Солодар М.** 20 самых эффективных инструментов онлайн-продаж. М.: Эксмо, 2020



*С. М. Перламонова, студ.; А. А. Еремеев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PWA В ПРИЛОЖЕНИИ ПО БОЕВЫМ ИСКУССТВАМ**

В современном мире сложно представить, что на только выпущенном смартфоне нет установленных на нем мобильных приложений. Ведь даже сошедший с конвейера новый аппарат не будет иметь и доли смысла и предполагаемого функционала без предустановленных на нём приложений. Они являются не только удобным дополнением мобильного устройства, но и непосредственно главной его частью.

Мобильное веб-приложение представляет собой программу для смартфонов и планшетов. Такое приложение является адаптированным сайтом под любое мобильное устройство. Также благодаря иконкам, созданным на рабочем столе смартфона, его запуск происходит быстрее, чем поиск страницы в интернете, а функционал при этом доступен одинаковый.

PWA (Progressive Web Apps) — технология веб-разработки, благодаря которой происходит визуальное и функциональное преобразование сайта в мобильное приложение (мобильное приложение в браузере). В отличие от нативных приложений, данная технология уже поддерживается одновременно несколькими ОС: IOS, Windows, Android. Стоит отметить, что такие приложения индексируются поисковыми системами. Также для взаимодействия с данными она использует HTTPS протокол, которому отдают предпочтения поисковые системы. PWA приложения можно использовать в разных сферах жизни человека.

Данная технология была выбрана в ходе проектирования приложения по боевым искусствам, так как она позволяет преобразить уже готовый сайт, в мобильное приложение за достаточно короткое время, а главное, не требует особых затрат. Благодаря кэшированию файлов, доступ к ресурсам сайта будет предоставлен и офлайн, что также является плюсом для проектируемого приложения, т.к. многим пользователям будет удобно заниматься в режиме, не зависящем от доступа к интернету. Это позволяет приложению заинтересовывать пользователей еще больше, а главное выглядеть более презентабельно на фоне конкурентов.

Благодаря внедрению данной технологии, посещаемость сайта возрастает, а значит растет и количество пользователей, что ведет к превышению прибыли.

### **Литература**

1. QATestLab “Типы мобильных приложений” Режим доступа: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/types-of-mobile-applications/>

**Направление IV**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА**  
**И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**  
**Electrical engineering,**  
**electromechanics,**  
**and electric technologies**

---

**Руководитель направления:**  
к.т.н., доцент Грузков Сергей Александрович —  
профессор кафедры ЭКАОиЭТ НИУ «МЭИ»

**Секция 21**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ**  
**Electromechanical energy converters**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., доцент Ширинский Сергей Владимирович*

*Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Антон Олегович*

М. Диб, асп.; рук. Н. Ф. Котеленец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МГНОВЕННОГО СПЕКТРА МОЩНОСТИ

Этот метод позволяет контролировать работу асинхронного двигателя (АД) с помощью двух электрических величин: напряжения и тока одновременно. Уравнение для мгновенной мощности в случае короткого замыкания между витками статора описывается в соответствии с [1] формулой:

$$p(t) = \frac{\sqrt{3}}{2} U_m I_m [\cos[2(2\pi f_s)t - \varphi] + \cos \varphi] + \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ U_m I_{scfn} [\cos[(2k(2\pi f_s) - n(2\pi f_r))t - \theta_{scfn}] + \cos[n(2\pi f_r)t + \theta_{scfn}]] \right\} + U_m I_{scfp} [\cos[(2k(2\pi f_s) + n(2\pi f_r))t - \theta_{scfp}] + \cos[n(2\pi f_r)t - \theta_{scfp}]] \right\} \quad (1)$$

где  $I_{scfp}$ ,  $I_{scfn}$  — максимальные значения компоненты тока на частоте  $kf_s \pm nf_r$ ;  $\theta_{scfp}$ ,  $\theta_{scfn}$  — фазовые углы компонент на частоте  $kf_s \pm nf_r$ ;  $\varphi$  — угол нагрузки;  $U_m$ ,  $I_m$  — максимальные значения напряжения и тока;  $f_s$  — частота питания;  $f_r = ((1-s)/p)f_s$ ;  $n = 1, 2, 3 \dots$ ;  $k = 1, 3, 5 \dots$ ;  $p$  — число пар полюсов.

Из (1) следует, что в спектре мощности присутствует дополнительная составляющая на частотах  $(2kfs \pm nfr)$ . Для подтверждения этих данных проводились экспериментальные исследования на 4-полюсном АД с короткозамкнутым ротором мощностью 11 кВт и напряжением 220/380 В.

На рисунке показан частотный спектр мощности при номинальной нагрузке. Отчетливо видно увеличение амплитуд частот неисправности  $2fs - fr$ ,  $2fs + fr$  (где  $k = 1, n = 1$ ) из-за наличия короткозамкнутых витков в обмотке статоре (6% витков). Это указывает на возможность с помощью этого метода обнаруживать наличие короткого замыкания между витками фазы обмотки статора.

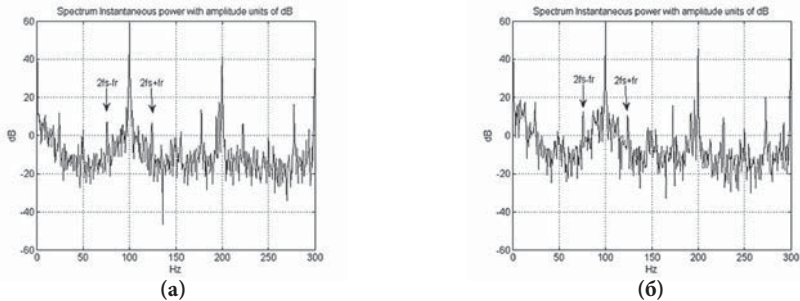


Рис. 1. Спектр мощности при номинальной нагрузке: а) исправный АД; б) АД с 6% к.-з. витков

### Литература

1. М. El Hachemi Benbouzid. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, no. 5, pp. 984–993, Oct. 2000, doi: 10.1109/41.873206.

М. Х. Боров, студ.; рук. А. С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Последнее десятилетие мировая совокупная установленная мощность ветроэлектрических станций (ВЭС) неуклонно растет [1].

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) с асинхронным генератором двойного питания (АГДП) широко применяются в современной энергетической промышленности [2]. АГДП — это асинхронный генератор с фазным ротором (АГФР), в котором в цепь ротора могут быть включены внешние устройства для регулирования частоты вращения.

Целью данной работы является исследование режимов работы ВЭУ (сверхсинхронный и подсинхронный) и оценка возможностей управления системой ВЭУ с АГДП в условиях переменной скорости ветра при оптимальной отдаче мощности в сеть. Для проведения необходимых расчётов была создана полная симуляционная модель ВЭУ с АГДП в интерактивной среде программирования MATLAB Simulink. Данное моделирование позволяет исследовать стационарные и динамические характеристики рассматриваемой установки.

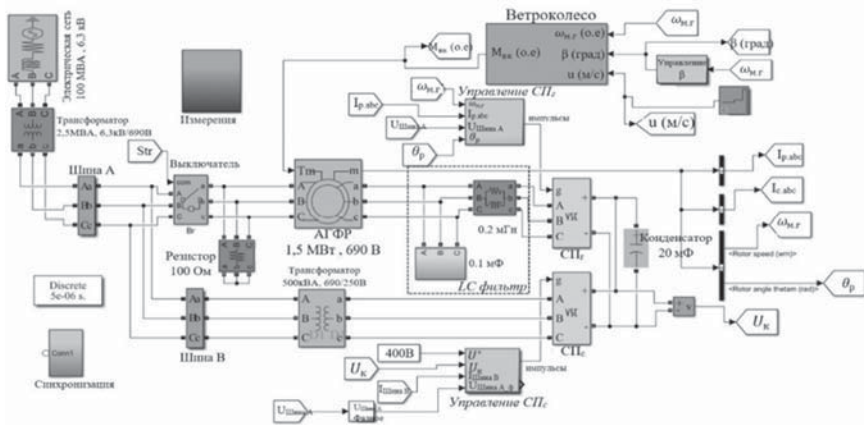


Рис. 1. Общая модель системы сетевой ВЭУ с АГДП в MATLAB Simulink

### Литература

1. Елистратов В. В. Современное состояние и тренды развития ВИЭ в мире // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2017. № 01-03(213–215). С. 84–100.
2. Котов А. А., Неустров Н. И. Применение генератора двойного питания для ветроэнергетических установок малой, средней и большой мощности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2017. Т. 17. № 4. С. 80–89.

*М. С. Венцеров, студ.;*  
*рук. А. О. Сидоров, к.т.н., ассистент (НИУ «МЭИ»),*  
*руководитель сервисной службы А. Ю. Мильшин (ООО «КЛАС»)*

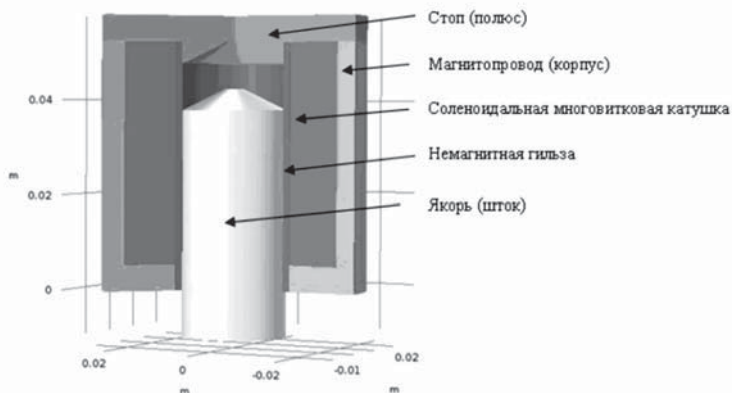
## **ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ШЕЙКЕРА**

Лабораторные шейкеры широко применяются в фармацевтике и смежных отраслях для перемешивания, разрушения, рассеивания и других операций с жидкостями и сыпучими веществами.

Работа устройства заключается в создании вращательного либо возвратно-поступательного движения. В качестве привода обычно используется вращающийся электрический двигатель, причем в последнем случае требуется кинематическое звено, преобразующее вращательное движение в возвратно-поступательное. Наличие звена вызывает дополнительные потери энергии, снижает надежность и ресурс, ухудшает массогабаритные показатели.

Возможный способ решения этой проблемы — использование линейного электрического двигателя. В этом случае отпадает необходимость в кинематическом звене. Кроме того, правильно спроектированная машина будет иметь некоторые улучшенные показатели по сравнению с вращающимся аналогом.

В данной работе проводится исследование модели линейного электродвигателя, выполненной в COMSOL Multiphysics с целью улучшения таких его параметров, как частота перемещения, потребляемая мощность, ресурс, массогабаритные показатели, надежность и другие.



**Рис. 1.** Модель линейного электродвигателя

### **Литература**

1. **Иванов А. С., Шитов Е. М., Мильшин А. Ю., Князев В. О., Сидоров А. О.** Численное моделирование динамического режима работы линейного электромагнитного двигателя лабораторного шейкера // *Электричество*. 2020. № 5.

Д. В. Куванов, студ.;  
рук. С. В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫБОР ОБМОТКИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

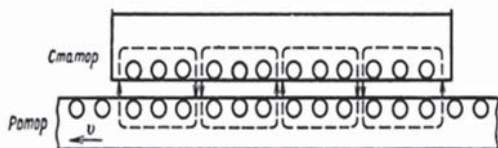


Рис. 1. Принципиальная схема линейного электродвигателя

Линейные электрические машины применяются для преобразования электрической энергии непосредственно в механическую и наоборот, исключая необходимость в преобразователе вращательного движения в поступательное. У линейных машин есть и недостатки, связанные с несимметрией магнитной цепи и краевыми эффектами. В таких машинах проблемой является формирование эффективной структуры вторичного элемента. Исходя из этого была использована схема линейного двигателя, показанная на рис. 1. [1].

Линейные двигатели и генераторы возвратно-поступательного действия используются во многих сферах. Среди них: преобразователи энергии морских волн, система активной подвески для демпфирования колебаний, линейные электрические машины, встраиваемые в конструкцию ДВС и т. д. [2].

В данной работе выполнено сравнение конструкций линейных генераторов возвратно-поступательного действия, имеющих обмотки статора с различным числом пазов на полюс и фазу. В качестве базы для сравнения использован генератор плоской конструкции с  $q=2/7$ , спроектированный ранее. С ним сравнивался генератор с обмоткой, имеющей  $q=1$ .

Генератор с  $q=1$  был создан так, чтобы максимально сохранить номинальную мощность и энергетические показатели. Выполнено сравнение массогабаритных показателей. Так же созданы модели в Ansys Maxwell.

### Литература

1. В. Б. Баль, В. Я. Геча, В. И. Гончаров, Е. В. Ежов, В. Г. Чиркин, С. В. Ширинский, Д. А. Петриченко. Линейные электрические машины возвратно-поступательного действия — типы и конструкции электрических машин / Вопросы Электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Том 148. № 5, 2015. с. 3–13.
2. В. Б. Баль, В. Я. Геча, В. И. Гончаров, Е. В. Ежов, В. Г. Чиркин, С. В. Ширинский, Л. Ю. Лежнев. Линейные электрические машины возвратно-поступательного действия — области применения / Вопросы Электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Том 149. № 6, 2015. с. 3–17.

*М. А. Карнаухов студ.;  
рук. А. С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В процессе эксплуатации любого электротехнического оборудования его параметры непрерывно изменяются. Так, например, у силовых трансформаторов изменяются характеристики растровенных в масле газов, изоляционные свойства высоковольтных вводов, электрические параметры и т. д.

В данный момент актуальным является вопрос непрерывного мониторинга трансформаторного оборудования с применением цифровых технологий передачи данных.

Цифровые системы мониторинга трансформаторного оборудования стали частью системы АСУ ТП, их наличие регламентируется стандартами отраслевых организаций, например [1].

Данная работа заключается в построении программно-технологического комплекса, способного выявлять дефекты в трансформаторном оборудовании и своевременно сигнализировать об их наличии.

Обмен информацией происходит при помощи стандартных протоколов, применяемых в системах АСУ ТП (Modbus, IEC60870-5-104), а также стандарта IEC 61850 (MMS для передачи в системы верхнего уровня)

Пример параметров трансформатора и приборов для их контроля представлен в табл. 1.

**Таблица 1.** Приборы для измерения параметров трансформаторного оборудования

<b>Параметр</b>	<b>Электрические параметры</b>	<b>Газовлагоанализ</b>	<b>Контроль изоляции высоковольтных вводов</b>
Прибор	ЭНИП-2	7Х	НКВВ

### **Литература**

1. **СТО ОАО «ФСК ЕЭС» 56947007-29.200.10.011-2008.** Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Общие технические требования: стандарт организации — введ. 2008-04-18. — «ОАО ФСК ЕЭС», 2008



*Н. А. Борисоглебский, студ.;*  
*рук. А. О. Сидоров, к.т.н., ассистент (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Синхронные машины с постоянными магнитами (СМПМ) находят в последнее время все более широкое применение. Объясняется это, прежде всего, появлением редкоземельных материалов, обладающих высокой энергией, таких как сплавы Sm-Co и соединения типа NdFeB. Использование для возбуждения электрических машин постоянных магнитов с высокой удельной энергией позволяет выполнять машины с лучшими массогабаритными показателями при прочих равных условиях, а также исключает электрические потери на возбуждение, что положительно сказывается на коэффициенте полезного действия [1]. Использование быстродействующих полупроводниковых элементов и различных алгоритмов управления позволяет достичь высоких регулировочных свойств этих машин.

В работе выполнен анализ основных конструктивных решений, применяемых в современных СМПМ. Выбраны наиболее эффективные способы снижения высших гармоник магнитного поля в зазоре и пульсаций электромагнитного момента.

Проведено сравнение различных конструкций ротора СМПМ с точки зрения снижения пульсаций электромагнитного момента: с радиальным и тангенциальным расположением магнитов, с магнитной системой Хальбаха, с V-образным расположением магнитов.

Рассмотрены конструкции статора. В качестве мер борьбы с пульсациями рекомендуется использовать вогнутые основания коронок зубцов, проточки на коронках зубцов и выбирать оптимальную величину ширины магнита (0,76).

Предложенные технические решения могут быть использованы при создании энергоэффективных и малощумных СМПМ.

### **Литература**

1. **Беспалов В. Я., Коварский М. Е., Сидоров А. О.** Исследование пульсаций электромагнитного момента синхронных машин с постоянными магнитами с целым и дробным значениями  $q$ . Статья // *Электричество*. 2018. № 5.

*К. В. Кузин, студ.; рук. С. В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

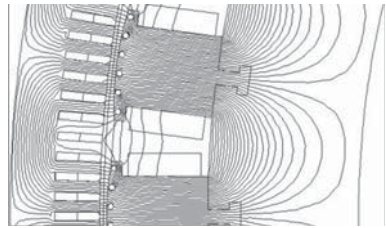
## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕМПФЕРНЫХ ОБМОТОК ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ**

Демпферную обмотку на роторе имеют почти все синхронные машины (в особенности крупные). В явнополюсных машинах с массивными стальными полюсами демпферный эффект создается вихревыми токами в наконечниках полюсов. В синхронных двигателях (и синхронных компенсаторах) установлены демпферные обмотки, предназначенные для их асинхронного пуска. После завершения пуска и втягивания в синхронизм токи этой обмотки в установившемся режиме отсутствуют.

Однако при любых переходных процессах, связанных с изменением напряжения, тока возбуждения или внешнего момента, изменяется потокоцепление с демпферной обмоткой и в ней появляются индуцированные токи, которые способствуют более благоприятному протеканию переходных процессов [1]. Поэтому демпферная обмотка имеется не только в двигателях, но и во всех крупных генераторах. Это придает синхронным машинам ряд ценных свойств, из числа которых важнейшим является способность работать не только в синхронном, но и в асинхронном режиме в случае выпадения из синхронизма.

Данная работа включает в себя исследование поля возбуждения (рис. 1.) и поля якоря на примере расчета синхронного гидрогенератора Саяно-Шушенской ГЭС, а также расчет параметров демпферной обмотки аналитическим и полевым методом и оценку их важности.

Для решения поставленных задач с достаточной степенью точности в работе проведено моделирование в программе FEMM.



**Рис. 1.** Картина поля генератора при холостом ходе

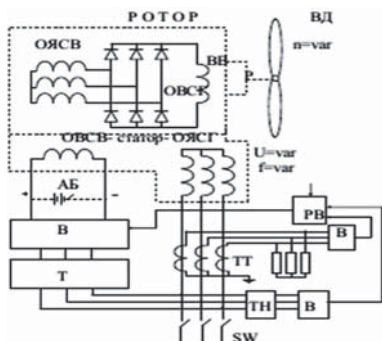
### **Литература**

1. **Иванов-Смоленский А. В.** Электрические машины. Том 2: Издательство МЭИ. 2004.

*В. В. Тугушев, студ.; рук. Е. В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ВЭС

К современным генераторам, входящим в состав ветроэнергетической системы (ВЭС), предъявляются повышенные требования к надежности, компактности и КПД, а также требуется повышенное качество производимой электроэнергии.



**Рис. 1.** Схема бесконтактного возбуждения

где ВД — ветродвигатель, Р — редуктор, ОВСГ — обмотка возбуждения СГ, ОЯСВ — обмотка якоря возбуждителя, ВВ — вращающийся возбудитель, ОЯСГ — обмотка якоря СГ, ОВСВ — обмотка возбуждения возбудителя, В — выпрямитель, РВ — регулятор возбуждения, ТТ — трансформатор тока, ТН — трансформатор напряжения, АБ — аккумуляторная батарея, SW — автоматический выключатель.

Данная работа включает в себя исследование электромагнитных, механических и энергетических характеристик синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов, исследование спектрального состава ЭДС и тока на выходе автономного инвертора, входящего в состав ВЭС.

Для решения поставленных задач с достаточной степенью точности в работе проведено моделирование в среде Matlab-Simulink.

### Литература

1. Сидельников Б. В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов // вестник Щецинского технического университета. Польша. 2001.

*И. А. Шабуневич, студ.; рук. А. С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

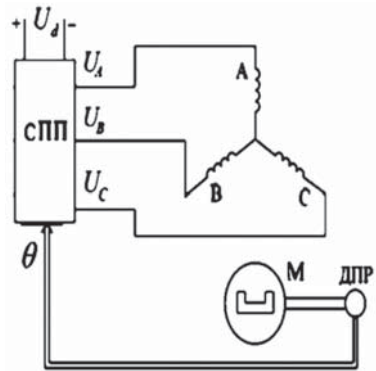
## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

К современным автоматизированным приводам прецизионных систем управления технологическими установками предъявляются жесткие требования по качеству управления механическим движением исполнительного звена. Из существующих типов двигателей при выполнении ряда задач наиболее перспективными являются бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ). Использование привода с БДПТ позволяет приблизить как динамические показатели, так и показатели точности систем автоматического регулирования к предельно достижимым.

БДПТ представляет собой замкнутую по положению ротора систему (рис. 1.) и использует три датчика, смещенные в пространстве на 120 градусов. Сигналы с этих датчиков после логических преобразований непосредственно управляют транзисторами силового полупроводникового преобразователя (СПП). Величина напряжения на выходе регулируется широтно-импульсным способом.

Данная работа включает в себя исследование электромагнитных процессов на выходе автономного инвертора; исследование электромагнитных, механических и энергетических характеристик электропривода с БДПТ; исследование спектрального состава ЭДС и тока на выходе автономного инвертора.

Для решения поставленных задач в работе проведено моделирование динамических процессов БДПТ в среде Matlab-Simulink.



**Рис. 1.** Бесконтактный двигатель постоянного тока

### Литература

1. **С. Г. Герман-Галкин** Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: Учебник. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 448 с.

*И. В. Никифоров, студ.; рук. Е. В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ ТИПА ЭКГ-10**

Эволюция электропривода карьерных экскаваторов за последние тридцать лет привнесла некоторые изменения в конструкцию, но по-настоящему новых принципиальных решений, уже внедренных на существующих машинах, мало.

Для главных механизмов экскаваторов характерна цикличность работы при экстремальных механических нагрузках, в том числе ударных, которые носят случайный характер. Движение ковша в забое отличается большой неравномерностью вплоть до полного стопорения при встрече с непреодолимым препятствием. Главные механизмы экскаватора работают в режиме частых пусков, реверсов и торможений (до 300 в час).

В настоящее время карьерные экскаваторы оснащаются, почти исключительно, электроприводом постоянного тока, однако приведенные выше факторы приводят к необходимости искать новые пути построения систем электропривода главных механизмов. Одним из них является использование для экскаваторных механизмов вентильных индукторных двигателей.

Вентильные индукторные двигатели обладают уникальными свойствами, принципиально отличающими их от других электрических машин. Основные преимущества вентильно-индукторного привода: его высокая перегрузочная способность, сохранение высокого значения КПД, близкого к номинальному и простота конструкции. [1]

Данная работа включает в себя выбор привода экскаватора ЭКГ-10, проектирование электродвигателя для этого привода, сравнение с существующими типами электродвигателей и исследование переходных процессов в спроектированном электродвигателе.

### **Литература**

1. **Фисенко Г. С., Попов А. Н.** Проектирование вентильных индукторных двигателей. М: Издательство МЭИ, 1995 г.

*А. А. Чеботарева, студ.; рук. Е. М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В РФ на долю асинхронных двигателей приходится от 47% до 53% потребляемой от всей вырабатываемой электроэнергии. АД осуществляют практически все технологические процессы с движением и охватывают все сферы жизнедеятельности человека. В связи с Распоряжением Правительства о «Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года» [1] главным приоритетом государственной энергетической политики является повышение энергоэффективности промышленности.

Несмотря на высокую надежность и небольшие эксплуатационные затраты, традиционные АД обладают невысокой энергоэффективностью, в частности они потребляют из энергосети от 25 до 40% реактивного тока и реактивной энергии индуктивного характера.

Повысить мощность и существенно снизить энергопотребление асинхронных двигателей позволяет ряд мероприятий, связанных с уменьшением потерь в асинхронном двигателе. Эти мероприятия рассматриваются в работе. И к ним следует отнести:

- уменьшение электромагнитных нагрузок;
- использование для магнитопровода более тонкой электротехнической стали с меньшими удельными потерями и большой магнитной проницаемостью;
- оптимизация размеров пазов статора и ротора;
- модернизация обмотки;
- уменьшение воздушного зазора и увеличение его равномерности за счет более точной технологической обработки;
- усовершенствование вентиляции;
- установка подшипников более высокого класса [2].

Все выше перечисленные мероприятия позволят усовершенствовать и оптимизировать АД так, что двигатель будет иметь лучшие энергетические характеристики.

### **Литература**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. // ТЭК. 2020.
2. **Шумов Ю. Н., Сафонова. С.** Энергосберегающие электрические машины // Электричество. 2015. № 4.

*А. Г. Самтанова, студ.; рук. П. А. Дергачёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИЗНАКОВ АВАРИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ**

Высокая степень износа действующего оборудования электрических станций требуют создания эффективной системы диагностики технического состояния весьма дорогостоящих объектов тепловых и атомных станций, к которым можно отнести турбогенераторы высокой мощности.

Надежность энергоснабжения — это высокое исходное качество оборудования, его долговечность, устойчивость к эксплуатационным, в том числе экстремальным воздействиям, это грамотная оперативная работа с оборудованием, его техническое обслуживание и ремонт.

Важной задачей является контроль работы генератора, как при нормальных, так и при ненормальных переходных режимах работы. При этом возникает большое количество реакций системы на различные условия эксплуатации.

В настоящей работе рассмотрены вопросы контроля турбогенераторов, а именно — создание единой базы данных признаков аварий элементов турбогенераторов на основе литературных данных.

Под симптомом подразумеваются те сигналы и признаки, которые являются прямым результатом деградации или отказа конкретного компонента.

Рассмотрены основные компоненты и системы:

- сердечник и корпус;
- статор;
- ротор;
- система возбуждения;
- система подачи смазочного масла;
- система масляного уплотнения;
- система водяного охлаждения статора.

Созданная база данных позволит анализировать симптомы и сопоставлять их с перечнем неисправностей, которые могут представлять собой ту или иную развивающуюся проблему турбогенератора.

### **Литература**

1. **Kerszenbaum I., Klempner G.** Large Turbo-Generators. Taylor & Francis Group, LLC. 2017.

*К. В. Шумов, аспирант; рук. Е. М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

В связи с развитием новых технологий появилась необходимость создания и применения линейных генераторов малой и средней мощности с возвратно-поступательным движением. Примером таких генераторов являются электрические амортизаторы. Электрический амортизатор состоит из линейного синхронного генератора с постоянными магнитами, пружины и аккумулятора энергии.

В электрическом амортизаторе кинетическая энергия колеблющегося элемента подвески преобразуется в электрическую. Эта энергия может быть использована для питания различных приборов автомобиля. В работе показано, что при выборе конструкции амортизатора предпочтительной является конструкция с коротким наружным индуктором, в пазах которого расположена трехфазная обмотка генератора. Вторичный элемент имеет радиально намагниченные постоянные магниты на основе редкоземельных материалов.

В работе представлена математическая модель электрического амортизатора с линейным генератором с постоянными магнитами в пакете Matlab/Simulink, позволяющая исследовать качество переходных процессов при различных законах изменения возмущающей силы и параметрах системы. Приведены результаты исследования движущей силы, тока, скорости и перемещения от времени. Предложенная математическая модель может быть использована в алгоритмах управления микропроцессоров систем подвески автомобилей и других средств передвижения.

Представленная модель является универсальной, она позволяет проводить исследование и сравнение различных типов амортизаторов, а также их проектирование под заданные характеристики.

### **Литература**

1. **Хитерер М. Я., Овчинников И. Е.** Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: Корона — Принт, 2008.
2. **Соколова Е. М., Мощинский Ю. А.** Цилиндрические линейные асинхронные двигатели. М.: Изд-во МЭИ, 1998.



*Ю. А. Романов, студент; рук. А. С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Асинхронный двигатель один из самых распространённых преобразователей электрической энергии в механическую. Используется данный тип машин практически во всех сферах производства и быта.

Несмотря на то, что асинхронный двигатель обладает высокой надёжностью, в нём могут возникнуть внезапные поломки, что неизбежно приведёт к существенным денежным затратам и возможным повреждениям другого электрооборудования. Неисправности возникают из-за того, что электродвигатели часто работают в сложных эксплуатационных условиях. Некоторые неисправности могут приводить к несимметричным режимам работы асинхронного двигателя. В связи с этим изучение несимметричных режимов работы и поиск способов выявления дефектов являются актуальными задачами.

К несимметричному режиму работы электродвигателя относится обрыв фазы статорной обмотки. При такой аварии по обмоткам статора будет протекать однофазный ток. Фактически трёхфазный двигатель будет работать как однофазный. Степень использования материалов уменьшается. При этом снижается и номинальная мощность двигателя на 40–50%. Это связано с тем, что часть обмотки статора не используется и в машине появляется обратное магнитное поле.

Для исследования выбран асинхронный двигатель 4 А132S4Y3. На основе математической модели в MATLAB&Simulink и конечно-элементного моделирования в FEMM проводится анализ влияния неисправности на характеристики электрической машины.

### **Литература**

1. **Вольдек А. И., Попов В. В.** Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010.
2. **Колесников В. В.** Моделирование характеристик и дефектов трёхфазных асинхронных машин: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017.

А. П. Корепов, студ.;  
рук. Ю. Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА МЕЖДУ ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ПАЗАМИ В РОТОРЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Обеспечить повышенный пусковой момент при сохранении энергетических показателей асинхронного двигателя позволяет применение чередующихся пазов в роторе (рис. 1, а). Одна форма пазов обеспечивает повышенные пусковые показатели, другая форма пазов хорошие энергетические показатели в номинальном режиме работы. По методике [1] с изменениями на основе работы [2] рассчитан шестиполусный АД 25 кВт с чередующимися пазами в роторе. На основе полевой модели АД в Ansoft Maxwell получены зависимости изменения токов в рабочих и пусковых пазх при изменении частоты вращения ротора (рис. 1, б).

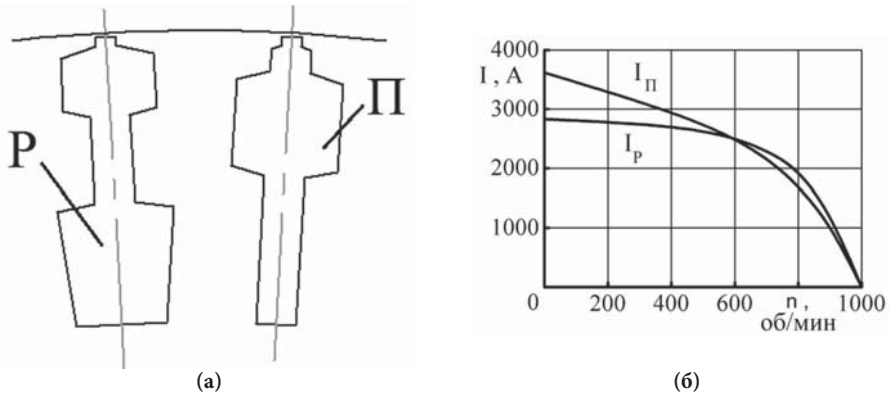


Рис. 1. Чередующиеся пазы в роторе (а) и изменения токов в них при изменении частоты вращения ротора (б): п — пусковой паз; р — рабочий паз

Энергетические показатели АД с одинаковыми и с чередующимися пазами в роторе в номинальном режиме практически совпали. Пусковой момент АД с чередующимися пазами увеличен на 40% по сравнению с АД с одинаковыми пазами, при увеличении пускового тока на 14%

### Литература

1. **Копылов И. П.** Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев; Под ред. И. П. Копылова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1993. — 464 с., ил.
2. **Корепов А. П.** Расчет характеристик асинхронного двигателя с чередующимися пазами на роторе / А. П. Корепов, Ю. Б. Казаков // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: XXVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. С. 358.

*Д. И. Тарбаев, студ.; рук. Е. М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В настоящее время мнение о том, что трикотажное производство в России развито недостаточно хорошо, является ошибочным. Крупные и средние фабрики по производству трикотажных изделий работают по всей стране. При этом их электроснабжение должно быть надёжным, чтобы избежать последствия, связанные с угрозой жизни людей.

Проектирование системы электроснабжения фабрики начинается с расчета электрических нагрузок с использованием коэффициентов спроса, одновременности и включения. При этом важным этапом является выбор главной понизительной подстанции, цеховых трансформаторных подстанций, распределительных пунктов и типов электродвигателей. Выбор числа и мощности цеховых ТП производится по требуемой степени надежности электроснабжения и рационального распределения между ТП потребителей электроэнергии на напряжение до 1 кВ [1].

Главной особенностью трикотажного производства является технологический процесс, который неосуществим без электрических двигателей. На трикотажной фабрике используются двигатели разных видов, такие как: универсальные коллекторные, трехфазные и однофазные асинхронные, синхронные с постоянными магнитами и другие. Выявлено, что причины перегрева двигателей в условиях трикотажного производства могут различаться в зависимости от их типов. Выбор типа электродвигателей в зависимости от цеха, в котором они будут располагаться, проводился с учетом фактора взрывоопасной и пыльной среды.

Неисправности каждого типа электродвигателей приводят к перерывам в работе станков. Перерывы в работе наносят ущерб производству продукции предприятия, а, следовательно, убытки фабрики возрастают. Чтобы этого не допустить, необходимо быстро уметь определять и устранять неисправность каждого типа электродвигателей.

На примере трехфазного асинхронного электродвигателя рассмотрены основные неисправности, а также способы их нахождения и устранения. Было доказано, что замена коллекторных двигателей на асинхронные уменьшит затраты на эксплуатацию на 27%. Это хороший показатель экономии.

### **Литература**

1. **Фёдоров А. А.** Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. М.: Энергоатомиздат. 1986.

А. А. Ооржак, аспирант;  
рук. С. В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С ПРЯМЫМ ПУСКОМ

Рост стоимости выработки электроэнергии, цен на эксплуатацию и обслуживание электрооборудования, связанный с ужесточением экологических и санитарных норм, подчеркивают важность постоянной актуализации научной составляющей в применении энергоэффективных двигателей в промышленности [1]. Целью работы является определение и исследование нетрудоемких и быстрых методов выявления конфигурации синхронного двигателя с постоянными магнитами с возможностью прямого пуска (СДПМП), соответствующего по уровню энергоэффективности и другим показателям актуальным требованиям МЭК. Методика должна позволить разработку модели двигателя, к ее оптимизации и к определению эффективной конструкции ротора СДПМП.

*Выбор расчетной модели СДПМП.* Численные методы. Современное состояние развития информационных технологий позволяет проводить трудоемкие вычислительные процессы на основе ЭВМ, что дает возможность получать более эффективные и точные модели. Аналитические методы. В отличие от численных методов, считается, что аналитические методы основаны на явной формулировке переменных, характеризующих систему. Полуаналитические методы. Одним из наиболее точных полуаналитических методов анализа электрических машин является Метод зубцовых контуров (МЗК). Этот метод был разработан на кафедре Электромеханики Московского Энергетического института в 1980-х годах под руководством А. В. Иванова-Смоленского, а затем развит В. А. Кузнецовым [2]. Именно он позволит создать быструю и точную модель СДПМП для использования в процедурах оптимизации.

*Вывод.* Рассматривая преимущества и недостатки вышеописанных методов, можно сделать вывод о том, что полуаналитический метод выигрывает не только в скорости, но и в точности, являясь при этом идеальным инструментом для анализа и оптимизации энергоэффективной машины. В частности, МЗК предполагает относительно небольшой объем вычислений, но при этом дает частное решение задачи с точностью полевых методов.

### Литература

1. **V. Elistratova**, Optimal design of line-start permanent synchronous motor of high efficiency. [текст]: Ph. D. dissertation, l'École Centrale de Lille, 2016.
2. **D. Petrichenko**, "Contribution la modlisation et la conception optimale des turbo-alternateurs de faible puissance," Ph. D. dissertation, l'École Centrale de Lille, 2007.

*В. И. Королев, асп.; рук. А. С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Электрические двигатели являются центром большинства промышленных производственных процессов. Поэтому очень важно следить за состоянием машины, чтобы избежать выхода её из строя. Для достижения данной цели было разработано множество методов, в том числе метод предиктивного технического контроля за состоянием электродвигателей и их обслуживание. Предиктивное обслуживание можно рассматривать как обслуживание оборудования, направленное на предсказание места и времени вероятного возникновения неполадок [1].

Мониторинг состояния электрических машин — это непрерывный процесс оценки исправности оборудования в течение всего срока эксплуатации. Основная функция системы прогнозного мониторинга — распознавание развития отказов.

Обычно в промышленности подавляющее большинство программ мониторинга состояния основано на анализе механических параметров. Чаще всего применяются следующие методы: анализ вибрации, акустический анализ, ударный импульс и колебания скорости. Также применяются другие методы, основанные на измерении электрических параметров (частотный анализ токов и напряжений, измерение и анализ магнитного потока в зазоре электродвигателя, контроль частичных разрядов в изоляции обмоток, векторы Парка и т.д.) [2].

В работе проводится структурирование методов, которые применяются в электрических машинах для определения неисправностей. Описывается суть этих методов. Также проводится описание принципов прогнозирования. Осуществляется сравнение и описание методов машинного обучения, используемых для этого. На основании данного сравнения представлены выводы о применимости различных видов анализа.

### **Литература**

1. **Bonaldi E. L., De Lacerda de Oliveira L. E., Borges da Silva J. G., Lambert-Torres M. G. and Borges da Silva L. E.** Predictive Maintenance by Electrical Signature Analysis to Induction Motors, 2012. <http://dx.doi.org/10.5772/48045>
2. **Пономарев В. А., Суворов И. Ф.** Комплексный метод диагностики асинхронных электродвигателей на основе использования нейронных сетей // *Новости электротехники*. 2011. № 2 (68).

*А. Д. Белов, студ.; рук. Е. М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ СТОИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ**

Технологическое присоединение — это процесс подключения энергопринимающих устройств заявителя к электрическим сетям. Данную услугу оказывают электросетевые компании. К энергопринимающим устройствам относятся различные двигатели, в частности асинхронные, на долю которых приходится от 47 до 53% потребления всей вырабатываемой электроэнергии. Вопрос о технологическом присоединении является крайне важным.

Расчет стоимости технологического присоединения является сложным процессом, который зависит от множества факторов, а именно вида тарифной ставки, запрашиваемой мощности, которая необходима для подключения энергопринимающих устройств, расстояния от ЭПУ заявителя до электрических сетей и т. д.

На основании вышеизложенной информации основными целями работы были приняты:

1. Разобраться в понятии «Технологическое присоединение», изучить законодательство в сфере технологического присоединения к электрическим сетям.
2. Самостоятельно произвести расчет стоимости ТП с помощью калькулятора стоимости и формул, меняя при этом вид тарифной ставки, уровень питаемого напряжения, категорию надежности.
3. Проверить правильность вычислений путем сравнения полученной стоимости расчетным путем и на калькуляторе.

### **Литература**

1. Постановление правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 29.06.2020) «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям» [Электронный ресурс] URL://<http://www.consultant.ru/document>

*Д. С. Ермаков, студент;  
рук. А. О. Сидоров, к.т.н., ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Развитие крупного электромашиностроения в значительной степени определяется качеством подшипниковых опор. Магнитный подшипник — элемент опоры осей, валов и других деталей, работающий на принципе магнитной левитации. Электромагнитные подшипники (МП) не требуют смазки, не имеют износа, а также позволяют работать при высоких частотах вращения, ограничиваемых только прочностью роторов в широком диапазоне температур и возможностью изоляционных материалов. Они имеют практически неограниченный срок службы и низкое энергопотребление.

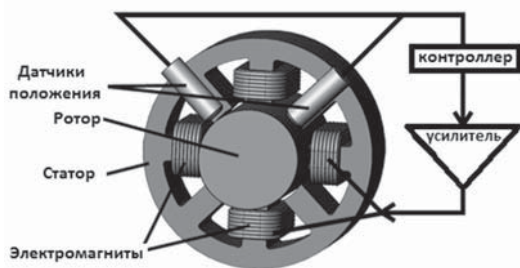


Рис. 1. Бесконтактный магнитный подшипник

В работе проводится расчет и оптимизация электромагнитного подвеса с помощью программы FEMM 4.2, использующей метод конечных элементов. Создана упрощенная двумерная математическая модель электромагнитного подвеса, позволяющая с высокой степенью точности определить его подъемную силу. Получена характеристика зависимости силы, которую создает магнитный подвес, от его массогабаритных размеров и от количества магнитных подшипников.

Первые проработки были сделаны во ВНИИЭМ применительно к турбогенераторам мощностью несколько мегаватт и показали реальность их внедрения. При создании электрических машин с частотой вращения несколько сотен тысяч оборотов в минуту перспективным является применение МП.

### Литература

1. Трифонова Н. П., Иргышский Э. Б. Конструктивные особенности механизмов с магнитными подшипниками // Труды ВНИИЭМ, 1989.
2. Чуднов В. К. Разработка математической модели электромагнита в составе электромагнитной лыжи транспортного подвеса. М.: МЭИ, 1989.
3. Э. Б. Иргышский, И. А. Кроль, В. М. Лебедев, Б. М. Рыженская Построение модели расчета надежности электромеханизмов с магнитным подвесом ротора // Тр. ВНИИЭМ, 1989.

*И. А. Шумилов, студ.; рук. С. А. Коробков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Современные тенденции развития технологий приводят к повышению стандартов качества выпускаемой продукции. Это касается и сферы электромашиностроения.

Повышение энергоэффективности трансформаторов осуществляется за счет снижения в них потерь. Потери делятся на постоянные и переменные. Постоянные потери — это потери холостого хода, которые возникают из-за наводимых намагничивающих токов в магнитопроводе. Переменные потери — это электрические потери в обмотке, зависящие от нагрузки трансформатора.

Уменьшения потерь электроэнергии можно достичь, в том числе, за счет изменений в конструкции трансформатора и применяемых в нем материалов. Наиболее оптимальными методами увеличения энергоэффективности силового трансформатора являются:

- подбор оптимального коэффициента нагрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора);
- увеличение коэффициента мощности (соотношение активной и реактивной мощности потребителя);
- уменьшение мощности потерь холостого хода (мощности потерь в магнитопроводе трансформатора);
- уменьшение мощности потерь короткого замыкания (мощности потерь в обмотках трансформатора).

В работе проведены исследования влияния различных способов повышения энергоэффективности, расчет снижения потерь и сравнение рассматриваемых способов.

### **Литература**

1. **Иванов-Смоленский А. В.** Электрические машины. Том 2: Издательство МЭИ, 2004.



*Е. В. Щетинин, асп; рук. А. А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРАХ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ**

Актуальность применения синхронных машин в нефтегазовой отрасли в качестве привода насосных и компрессорных станций, турбинных установок, на сегодняшний день является приоритетным направлением в электромеханике. С каждым годом объем добываемого сырья растет, увеличиваются мощности скважин, а вместе с ними и мощности приводных механизмов и потребителей, а также габаритные размеры машин. В связи с этим появилась необходимость учета потерь на вихревые токи. Ввиду развития арктической зоны Российской Федерации, так же целесообразно конструирование новых более мощных и более надежных синхронных турбогенераторов с оптимальными массогабаритными размерами.

Исследование вихревых токов является одной из приоритетных задач в электромеханике. В проведенных исследованиях [1] возникновение вихревых токов в статоре, а также в постоянных магнитах может вызвать достаточно негативные последствия, которые могут привести к нагреву постоянных магнитов и к потере их магнитных свойств. С увеличением частоты вращения синхронной машины совокупные потери на вихревые токи могут достигать свыше 20% от номинальной мощности. При этом потери на вихревые токи в постоянных магнитах могут быть преобладающими, особенно для двухполюсных машин [2].

В данной работе рассматривается расчет потерь на вихревые токи при трехмерном моделировании. Целью работы является исследование зависимости скорости вращения и мощности машины на его потери от вихревых токов как в обмотках статора, так и в постоянных магнитах. Понимание распределения вихревых токов в постоянных магнитах при трехмерном моделировании поможет улучшить конструктивные особенности машины.

### **Литература**

1. **Afinowi I. A. A., Zhu Z. Q., Guan Y., Mipo J. C., Farah P.** A Novel Brushless AC Doubly Salient Stator Slot permanent magnet — IEEE Transactions on Energy Conversion — 2016. — vol. 31. — pp. 283–292.
2. **Сидоров А. О.** Исследование синхронных машин с постоянными магнитами с пониженными уровнями вибрации: диссертация кандидата технических наук: 05.09.01 / А. О. Сидоров: Москва, 2019. — 149 с.

А. С. Микеров, студ.; рук. Е. В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

В автономных энергоустановках все чаще используются вентильные высокоскоростные генераторы с аксиальным магнитным потоком. Эта электрическая машина имеет горизонтально-секционное расположение постоянных магнитов. Особенность всех малогабаритных электрических двигателей тепловых двигателей — высокая частота вращения, что не позволяет получить напряжение с частотой 50 Гц напрямую, но зато дает возможность применить рассматриваемую машину. Электрическая машина с аксиальным магнитным потоком (ЭМАП), её устройство показано на рисунке 1.

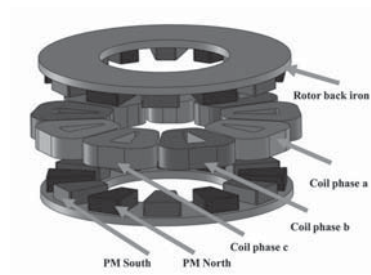


Рис. 1. Одна секция машины с аксиальным магнитным потоком

Электрическая машина аксиальной конструкции обладает рядом преимуществ: — отсутствуют потери на перемагничивание в статоре из-за отсутствия стали в магнитопроводе, что может обеспечить высокий КПД и малые потери на нагрев; — улучшается компоновка узлов энергоустановки вследствие уменьшения объема машины; — секционное исполнение аксиальной электрической машины позволяет разделить фазы в обмотке и выполнить обмотки многофазными, что снижает пульсации момента на валу генератора и повышает эффективность электрического преобразователя;

Есть возможность эффективно применять вентильные электрические машины в газотурбинных энергетических установках, т. к. электродвигатели с осевым потоком имеют большой КПД, крутящий момент и низкий уровень вибрации из-за своей геометрии. При этом такие электрические машины имеют минимальное трение при максимальном крутящем моменте и могут обеспечить характеристики лучше, чем у традиционных электрических машин с радиальным магнитным потоком.

### Литература

1. **Juan Sebastián Lasprilla Hincapié**, Military University of New Granada. Mechatronics Engineering, «AXIAL FLUX ELECTRIC MOTOR»
2. **Ганджа С. А.** Оптимальное проектирование электроприводов на базе вентильных электрических машин с аксиальным зазором / С. А. Ганджа // Вестник ЮУрГУ серия «Энергетика». — 2009. — Вып. 12, № 34. — С. 68–72.

А. Е. Кадомский, студ.; рук. С. А. Коробков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ТИРИСТОРНЫЙ РПН СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Для экономичной и безаварийной работы любого потребителя необходимо, чтобы отклонения фактической величины подводимого к нему напряжения были минимальными. Эти отклонения не должны превышать установленной для данного приемника нормы.

Колебания напряжения неизбежны, поэтому для поддержания уровня напряжения постоянным требуется его непрерывное регулирование. Для регулирования напряжения без отключения трансформатора от сети (а, следовательно, и потребителей) применяют РПН — регулирование под нагрузкой. При этом большая часть неисправностей силовых трансформаторов связана с неисправностями РПН.

В процессе изменения числа витков с помощью механического РПН возникает проблема невозможности простого размыкания цепи из-за возникновения электрической дуги, и, как следствие, ограниченное число циклов переключения из-за механических возможностей самого переключателя. Чтобы решить проблемы, связанные с механическим износом переключателя, предлагается использовать в качестве переключателя тиристорные ключи. Для минимизации нагрузки на тиристорные ключи предполагается применение вольтодобавочного трансформатора (ВДТ).

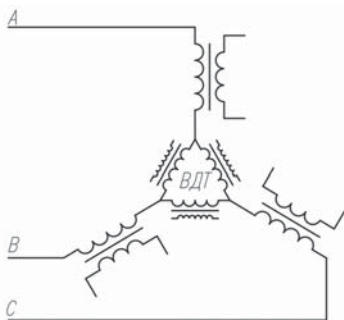


Рис. 1. Силовой трансформатор с подключенным ВДТ

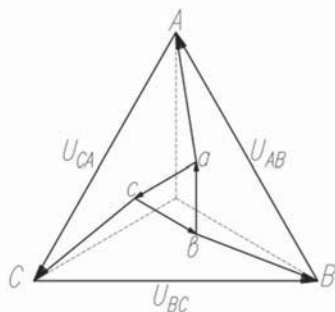


Рис. 2. Векторная диаграмма процесса регулирования

Рассматриваемый в работе способ регулирования основан на сложении и вычитании векторов напряжения на стороне ВН силового трансформатора с помощью ВДТ, который включен в разрыв звезды обмоток ВН. Обмотки ВДТ соединены в треугольник. Такой регулятор позволит повысить надежность системы электроснабжения и обеспечит регулирование без искажений формы кривой выходного напряжения.

### Литература

1. Гельман М. В., Лохов С. П. Тиристорные регуляторы переменного напряжения. М.: Энергия, 1975.
2. Симапов С. В. Тиристорные переключающие устройства для регулирования напряжения силовых трансформаторов, автореферат диссертации к.т.н.

Н. А. Любутов, студент; рук. Е. В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОТОР-КОЛЕСО В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

В настоящее время становится актуальным вопрос использования электропривода, расположенного непосредственно внутри колеса.

Чаще всего мотор-колеса используются в электросамокатах, велосипедах и гироскутерах. Преимуществами данного устройства являются компактность, малые габариты, возможность организации управления отдельно каждым колесом, обеспечивающая улучшенное управление и повышающую безопасность.

Принцип работы мотор-колеса не зависит от наличия редуктора. В статоре формируется магнитное поле, воздействующее на магниты ротора и приводящее его в движение. Мотор-колеса бывают двух видов: редукторные и прямого привода.

Моторы с прямым приводом являются самыми простыми, т.к. кроме подшипников в них ничего не изнашивается. Их недостаток при использовании в двухколесном транспорте — во время движения накатом и на педалях ощущается противодействие мотора.

Редукторные мотор-колеса оснащены редуктором и обгонной муфтой, благодаря которой при движении накатом и на педалях отсутствует торможение мотором.

Было проведено моделирование в среде программы численного расчета магнитного поля FEMM и получена картина магнитного поля. Проведя расчет при разных положениях ротора с сохранением магнитного потока, было получено значение номинального момента  $M = 1050 \text{ Нм}$ .

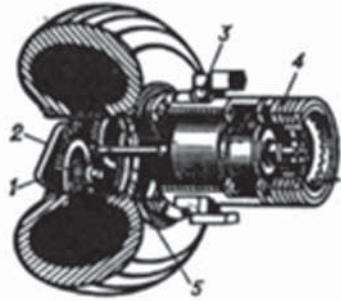


Рис. 1. Система мотор-колесо:  
1 — вал; 2 — редуктор; 3 — цапфа;  
4 — дисковый тормоз; 5 — зубчатый венец колеса

### Литература

1. «Википедия, свободная энциклопедия», <https://ru.wikipedia.org/>
2. «Мотор-колесо» ElectroPowerBikes <https://electropowerbikes.com/motor-koleso/>

*М. М. Евсеев, студ.; рук. В. Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНДУКТОРНЫЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОР С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВАЛОМ**

Развитие ветроэнергетики сдерживается низкой рентабельностью современных ветроустановок. Стоимость электроэнергии, полученной с помощью ветра, пока в несколько раз выше стоимости электроэнергии традиционных энергосистем [1]. Один из путей повышения рентабельности ветроустановок — упрощение конструкции ветротурбин и ветрогенераторов [2]. Использование низкооборотных многолопастных ветротурбин позволяет упростить конструкцию, снизить стоимость ветроустановки и повысить её надёжность и срок службы. Однако, увеличение числа лопастей турбины приводит к снижению её частоты вращения и усложняет её сопряжение с традиционными типами ветрогенераторов, так как требует применения мультипликаторов с большим передаточным отношением.

В качестве генератора для ветроустановки предлагается использовать вентильно-индукторный генератор [3]. Генератор имеет наиболее простую конструкцию, среди других типов генераторов. Генератор имеет безобмоточный зубчатый ротор без постоянных магнитов. Обмотка статора генератора состоит из простых сосредоточенных катушек. Частота вращения ротора генератора может быть достаточно низкой, что позволяет использовать прямой привод генератора от низкооборотной многолопастной ветротурбины.

В данной работе проведено моделирование генератора, рассчитаны его параметры и характеристики. Разработана конструкция генератора для ветроустановки с вертикальным валом.

### **Литература**

1. **Шефтер Я. И., Рождественский И. В.** Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты. М.: Колос, 1967.
2. **Безруких П. П.** Ветроэнергетика. М.: Интехэнергоиздат, 2014.
3. **АунгМинт Тун.** Вентильно-индукторные генераторы для ветроэнергетики // Дисс. на соискание уч. степени к.т.н. М.: МЭИ, 2020.

*Д. А. Савинов, студ.; рук. В. Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛИНЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПРЯМЫМ ПРИВОДОМ ОТ ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Идея применения линейного генератора с прямым приводом от поршней двигателя внутреннего сгорания (ДВС) известна давно [1]. Прямой привод позволяет избавиться от механического преобразования линейного движения поршней во вращательное движение коленчатого вала, с целью использования традиционного вращающегося генератора, и повысить КПД системы.

Однако, реализации линейного генератора с приводом от ДВС до сих пор не произошло. Причиной является использование традиционной конструкции линейного генератора с одним подвижным элементом, что приводит к несбалансированности подвижных масс. Увеличением числа подвижных элементов можно сбалансировать подвижные массы, но возникает проблема синхронизации движений элементов.

В данной работе используется коммутируемый вентильно-индукторный генератор с приводом от четырёхтактного ДВС. Генератор имеет 4 подвижных элемента, каждый из которых соединён штоком с одним из поршней ДВС. Это решает проблему несбалансированных масс. Синхронизация движений поршней осуществляется качающимися синхронизаторами. Проведено конструирование генератора. Разработана численная модель генератора в программе FEMM. Проведено моделирование генератора и получены значения его параметров и характеристик.

### **Литература**

1. **Высоцкий В. Е.** Линейный генератор с постоянными магнитами для систем электропитания автономных объектов / В. Е. Высоцкий // Известия вузов. Электромеханика. 2010, № 1, с. 80.

И. С. Егоров, асп.; Н. А. Морозов, к.т.н., доцент;  
рук. Ю. Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

## СИЛЫ СТРУКТУРИРУЕМОЙ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОМ ДЕМПФЕРЕ

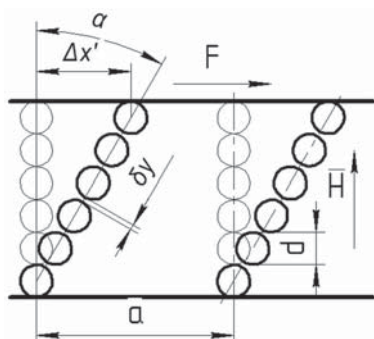


Рис. 1. Модель объёма МЖ

В последнее время все чаще в промышленности применяются управляемые демпферы на основе магнитной жидкости (МЖ). Достаточно большие сдвиговые напряжения слоя МЖ достигаются при малых скоростях сдвигового течения, когда не происходит разрушения внутренних структур. Данный эффект вызывает особый интерес для изучения.

Модель объёма МЖ, помещенного во внешнее магнитное поле между двумя магнитными пластинами, показана на рис. 1. Используя эту модель и формулы, представленные в [1], становится возможным определить энергию взаимодействия двух цепочек МЖ при любом угле наклона цепочек:

$$W = \sum_{i,j}^{N_{ц}} \frac{-m \cdot \left[ 3 \cdot \cos^2 \left[ \alpha - \frac{\pi}{2} + \arccos \left[ \frac{(d + \delta_y) \cdot (i - j) \cdot \sin \alpha - a}{r_{i,j}} \right] \right] - 1 \right]}{\sqrt{\left[ (d + \delta_y) \cdot (i - j) \cdot \cos \alpha \right]^2 + \left[ a - (d + \delta_y) \cdot (i - j) \cdot \sin \alpha \right]^2}}^3$$

где  $i, j$  — номера частиц в первой и второй цепочках соответственно,  $a$  — расстояние между цепочками, которое можно найти в [2],  $\alpha$  — угол наклона цепочек, определяемый величиной сдвига пластин  $\Delta x'$ ,  $\delta_y$  — величина зазора между частицами в цепочке,  $m$  — модуль магнитного момента сферы,  $d$  — диаметр сферической частицы,  $N_{ц}$  — количество частиц в цепочке.

Используя приведенную форму, можно определить силу, с которой взаимодействуют друг с другом рядом находящиеся цепочки в слое МЖ.

### Литература

1. Диканский Ю. И., Вегера Ж. Г., Суздаев В. Н., Смерек Ю. Л. О магнитных жидкостях с дисперсией немагнитных включений различной формы / 10-я международная плеская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям (Плѣс, 6–9 сентября 2002 г.) — Иваново ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина», 2002. — С. 108–113.
2. Морозов Н. А., Егоров И. С. Цепочечные структуры в магнитоуправляемых коллоидах во внешнем магнитном поле / 19-я международная плеская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям (Иваново, 6–9 сентября 2020 г.) — Иваново ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина», 2020. — С. 111–115.

**Секция 22**  
**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ**  
**МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ**  
**Physics and technologies**  
**of materials and components**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Серебрянников Сергей Владимирович*

*Секретарь секции: к.т.н., с.н.с. Тихонов Антон Иванович*



*А. И. Никитин, асп.; рук. М. А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СПЛАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ СПЛАВНЫХ (FBT) ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ**

Сети связи, построенные на использовании оптических кабелей, создают путем специальных соединений различных типов кабелей с помощью оптических разветвителей [1].

На сегодняшний день оптические кабели являются одними из самых востребованных сред для передачи сигналов на значительные расстояния [2].

При изготовлении сплавных (FBT) оптических разветвителей оптические волокна сплавляются между собой, образуя зону сплавления, где происходит разделение сигнала между волокнами.

В данном исследовании параметр степень сплавления условный и зависит от температуры и времени сплавления оптических волокон.

В зависимости от степени сплавления оптических волокон сечения оптических разветвителей в зоне сплавления могут иметь формы соприкасающихся окружностей («слабая» степень сплавления) или слившихся окружностей («сильная» степень сплавления).

Проведенное исследование показало, что сплавные (FBT) оптические разветвители со «слабой» степенью сплавления имеют большую спектральную чувствительность, меньший период спектрального пропускания, меньшую температурную стабильность параметров передачи, чем разветвители с «сильной» степенью сплавления.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что параметры передачи сплавных (FBT) оптических разветвителей зависят от степени сплавления оптических волокон при изготовлении.

### **Литература**

1. **Никитин А. И., Боев М. А.** Влияние температуры на затухание в сплавных оптических разветвителях для соединения оптических кабелей // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. — С. 342.
2. **Никитин А. И., Боев М. А.** Изготовление сплавных (FBT) оптических разветвителей с конфигурациями делений 1x3, 1x4, 1x5 // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. — С. 369.

*Чуной Суй, асп.; рук. М. А. Боев, д.т.н., проф. (МЭИ «НИУ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СИЛАНОВОГО «СШИВАНИЯ» ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЮ ЭКСТРУЗИИ**

Полиэтилен (ПЭ) имеет хорошие электроизоляционные характеристики, обладает химической стабильностью, устойчив к воздействию низкой температуры и обладает рядом других преимуществ, но в тоже время у этого материала есть недостатки, один из которых, потеря механических свойств при температуре близкой к плавлению и выше, что ограничивает максимальную температуру эксплуатации [1]. Для повышения рабочей температуры изделий изоляцию из ПЭ подвергают модификации путем «сшивания». В настоящее время такой подход является весьма эффективным, ПЭ «сшивают» главным образом химически с использованием перекисных и силиконовых соединений, а также путем облучения частицами высокой энергии. Для производства низковольтных кабелей широко используют технологию, так называемой, силановой «сшивки» ПЭ, исследованию которой посвящена данная работа.

В технологическом отношении различают одно- и двухстадийное силановое «сшивание» ПЭ. Одностадийная силановая «сшивка» уникальна, т.к. позволяет сократить технологический процесс изготовления изоляции, экономит много энергии, снижает закупочную стоимость материала, устраняет целое производственное звено, начиная от завоза материала и кончая технологией [2].

В данной работе исследованы такие реологические свойства «сшиваемого» ПЭ как вязкость расплава и температура текучести, величина которых необходима для определения режимы экструзии при технологической переработке в процессе изготовления изоляции. Показано, что введение в состав композиции небольшой объемной доли добавок: винилсилана, пероксида и каучука-катализатора, образующих дисперсную систему, практически не меняет условия переработки ПЭ.

### **Литература**

1. **Чжоу Баомао.** Отчет по технико-экономическому анализу одностадийного силанового сшивания полиэтилена. Производство пластмасс, 2008, № 9, с. 68–73.
2. **Се Вейбинь, Ван Чжишэн, Ян Кайцзюнь.** Исследование одностадийного самосшивающегося полиэтилена с силаном. Ежемесячный обзор науки и технологий, 2013, № 26 (8), с. 199–200.

*Д. И. Плотников, студ.; С. А. Горовой, М. А. Пшеничная, асп.;  
рук. Д. А. Поляков, ст. преп. (ОмГТУ, г. Омск)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ**

Согласно статистическим данным наибольшее число технологических нарушений приходится на повреждения изоляции, полученные при изготовлении, транспортировке, монтаже или в процессе естественного старения, одним из основных механизмов которого служит образование частичных разрядов, в результате чего эксплуатационный срок электроэнергетического оборудования может быть значительно снижен [1].

От состояния и качества электрической изоляции электроэнергетического оборудования напрямую зависит надежность и устойчивость электроэнергетических систем и по этой причине своевременный контроль и мониторинг его остаточного ресурса остается актуальным вопросом и в настоящее время.

Регистрация частичных разрядов используется как диагностический инструмент, позволяющий определить наличие и местоположение дефектов изоляции и точно оценить срок эксплуатации объекта исследования, что может способствовать предотвращению возможного технологического нарушения [2].

Данный процесс довольно трудоемкий и требует наличия современных программно-аппаратных комплексов и средств, работающих в автономном и автоматическом режимах, позволяющих обрабатывать полученную информацию и использовать ее персоналом для проведения дальнейших организационно-технических мероприятий направленных на устранение возможных или случившихся аварийных режимов работы электроэнергетической системы. В настоящем эксперименте таким средством является универсальный прибор оперативного контроля изоляции высоковольтного оборудования по частичным разрядам.

Эксперимент позволил определить наиболее пригодную классическую электрическую схему регистрации частичных разрядов в изоляции кабелей, применяемую при электрическом методе регистрации, на основании таких параметров как амплитуда, мощность и количество возникающих импульсов.

### **Литература**

1. **Коробейников С. М., Вечёркин М. В.** Физика возникновения характеристики и классификация частичных разрядов в высоковольтном оборудовании // ЭС и К. 2010. — № 1. — С. 204–212.
2. **Моногаров О. И.** Способ повышения достоверности селекции сигналов частичных разрядов // Достижения вузовской науки. — 2013. — № 2. — С. 97–103.

*А. В. Шутов, асп.; рук. В. М. Геворкян, к. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОБРОТНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ЭКРАНИРОВАННЫХ СТРУКТУРАХ**

Одним из компонентов СВЧ-устройств является резонатор. Современные миниатюрные диэлектрические резонаторы (ДР), изготовленные из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon_r \approx 30 \dots 80$ ), характеризуются малыми потерями ( $\text{tg}\delta < 10^{-4}$ ) и стабильностью частоты в широком диапазоне температур [1, 2]. Проектирование СВЧ-устройств с ДР требует знания электрических характеристик, в частности эффективной собственной добротности. Измерение добротности ДР больше  $10^4$  — сложная и актуальная задача.

В работе выполнено численное моделирование алгоритма измерения собственной эффективной добротности ДР на основе измерительной системы — ДР, помещенный в полый металлический резонатор (МР), связанный с волноводом. Способ измерения основан на анализе частотных характеристик элементов матрицы рассеяния связанной системы [3, 4]. Отличительная особенность алгоритма — отсутствие жестких требований к конструктивно-технологическим характеристикам элементов измерительной системы.

Анализ результатов численного моделирования показал, что эффективная добротность ДР ( $Q_{\text{эф}}$ ) может быть как больше, так и меньше величины  $1/\text{tg}\delta$ . Это зависит от соотношения «внутренней» добротности ДР ( $Q_{in}$ ), обусловленной запасенной энергией и потерями внутри ДР, и «внешней» добротности ( $Q_e$ ), определяемой запасенной энергией внешних полей ДР и потерями в стенках МР. Если «внешняя» добротность больше «внутренней» ( $Q_e > Q_{in}$ ), то  $Q_{\text{эф}} > 1/\text{tg}\delta$ , если наоборот  $Q_e < Q_{in}$ , то  $Q_{\text{эф}} < 1/\text{tg}\delta$ , и равенство  $Q_{\text{эф}} = 1/\text{tg}\delta$  обеспечивается при  $Q_e = Q_{in}$ .

Полученные данные полезны для направленного поиска оптимальных параметров ДР в экранированных устройствах.

### **Литература**

1. **ВЧ и СВЧ керамические материалы** и микроволновые элементы. Каталог продукции ООО «Керамика», 36 с. 2004 г.
2. **Геворкян В. М., Кочемасов В. Н.** Объемные диэлектрические резонаторы. Основные типы. Характеристики. Производители. Часть 1. Электронная техника. Наука. Технология. Бизнес. 2016. № 4, с. 62–76.
3. **Auld В. А.** Coupling of Electromagnetic and Magnetostatic Modes in Ferrie-Loaded Cavity Resonators. Journal of Applied Physics, v. 34, № 6, June 1963, p. 1629–1633.
4. **Геворкян В. М., Казанцев Ю. А.** Взаимная связь диэлектрического и полого металлического резонаторов. Труды МЭИ, вып. 464, 1980, с. 21–25.

*М. В. Поляков, студ.; рук. Д. С. Холодный, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

В настоящее время, чтобы получать изображения высокого разрешения для образцов, исследуемых на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ), необходима соответствующая подготовка, причем толщина образца в месте просвета должна составлять не более 100 нм. Одним из этапов пробоподготовки является ионное травление. Карбид кремния был выбран из-за его потенциальных возможностей, что связано с тем, что это широкозонный полупроводник, имеющий высокую теплопроводность (уступая только алмазу), высокую рабочую температуру (вплоть до 700°C), высокую твердость (9,5 по Моосу) и радиационную стойкость. Следовательно, на основе данного материала можно создавать приборы силовой и высокочастотной электроники, датчики (температуры, давления, потока), светоизлучающие низковольтные (2–3 В) ресурсосберегающие светотехнические системы, фотоприемники ультрафиолетового диапазона.

Конечно, допускается использование фокусированного ионного пучка (ФИП) но это в свою очередь приводит к удорожанию, а также невозможности получения большой площади поверхности (~0,25 мм<sup>2</sup>) и, следовательно, недостатку статистических данных во время исследований на ПЭМ [1].

В данной работе была предложена математическая модель для оценки скорости травления и образования продуктов распада, учитывающая скорость химической реакции травления материала. В рамках эксперимента были получены зависимости скорости травления от энергии, состава и времени проведения процесса, погрешности в определении скорости травления. Проведено сравнение результатов расчетов скорости травления с экспериментальными данными для узкой температурной области проведения процесса травления, что позволило получить решение для скорости травления в виде выражения типа бегущей волны.

Полученные данные представляют научную новизну, т.к. до этого не проводились исследования на данном материале для площадей образцов не менее 0,25 мм<sup>2</sup>.

### **Литература**

1. **Афанасьев А. В. и др.** Карбид кремния — наноразмерный алмазоподобный широкозонный полупроводниковый материал и приборы на его основе // Биотехносфера. 2011. № 1–2 (13–14). С. 11–19.

*Т. С. Гришин, студ., И. А. Михайлов, студ.;*  
*рук. Д. С. Холодный, к. ф. -м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЭМС-ТЕХНОЛОГИИ**

В настоящее время получили широкое распространение устройства, содержащие в своей конструкции микроэлектромеханические системы (МЭМС устройства), сочетающие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Как правило такие устройства изготавливаются на кремниевых подложках по технологии, аналогичной технологии изготовления интегральных микросхем.

Микромеханические свойства тонких пленок применяемых материалов значительно отличаются от свойств объемных тел того же состава [1]. Эти отличия объясняются наличием размерных эффектов при переходе от макро- к микро- и наномасштабам, влияющих на такие свойства материала как твердость  $H$ , предел текучести  $Y$ , модуль Юнга  $E$ , остаточные внутренние напряжения  $\sigma$  и др. Масштабирующими факторами могут выступать геометрические размеры пленки, шероховатость поверхности и зернистость.

Целью данной работы было исследование микромеханических свойств тонких пленок материалов МЭМС-технологии с помощью методов наноиндентирования [2], стилусной профилометрии и атомно-силовой микроскопии.

Для пленок различных материалов, применяемых в МЭМС технологии, были определены функциональные зависимости от толщины пленки  $h$  в пределах от 100 до 1000 нм для следующих параметров:

- Модуль Юнга  $E$
- Твердости пленки  $H$
- Величина остаточных внутренних напряжений

### **Литература**

1. **Martins P. и др.** On the determination of Poisson's ratio of stressed monolayer and bilayer submicron thick films // *Microsyst Technol.* 2009. V. 15. № 9. P. 1343–1348.
2. **Bhushan B.** Depth-sensing nanoindentation measurement techniques and applications // *Microsyst Technol.* 2017. V. 23. № 5. P. 1595–1649.

*А. С. Божедомова, студ.;*  
*рук. А. В. Бабич, к.т.н. (НИУ «МИЭТ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ In НА СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ФАЗОВОЙ ПАМЯТИ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$**

В настоящее время наиболее распространенными и перспективными материалами для использования в устройствах фазовой памяти являются халькогенидные сплавы тройной системы Ge-Sb-Te. Для получения возможности управления свойствами этих материалов представляется перспективным использование изоморфных с одним из основных компонентов модифицирующих элементов [1]. Таким элементом являлся индий. Предполагается, что индий не будет вносить значительных деформаций в матрицу материала, так как близок по атомному радиусу к Ge. Таким образом, целью данной работы было установление влияния индия (концентрацией от 0,1 до 5 ат.%) на структуру и свойства материала фазовой памяти  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ .

Исследуемые образцы были получены путем прямого сплавления материалов полупроводниковой степени чистоты в запаянных кварцевых ампулах. Для исследования состава синтезированных материалов использовался метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Для исследования структуры материалов использовался метод рентгенофазового анализа (РФА). Анализ полученных данных осуществлялся посредством регистрации изменений интенсивности и положения максимумов пика. Для исследования термических свойств использовался метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Измерения синтезированных материалов проводились от комнатной температуры до  $630^\circ\text{C}$  в запрессованных алюминиевых тиглях.

Анализ данных РФА позволил установить, что образцы всех составов являются поликристаллическими и соответствуют тригональной модификации материала  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ . Метод ДСК позволил определить температуру плавления материалов, а также с помощью обработки пиков плавления рассчитать теплоту плавления. Установлено наличие дополнительных пиков на ДСК кривых для некоторых материалов, что обусловлено плавлением эвтектического состава системы Ge-Te. Можно отметить материал  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  с 2 ат.% In как наиболее перспективный из исследуемых для применения в качестве материала фазовой памяти.

### **Литература**

1. **Lazarenko P. I.** et al. Influence of indium doping on the electrical properties of  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  thin films for nonvolatile phase change memory devices // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 690.

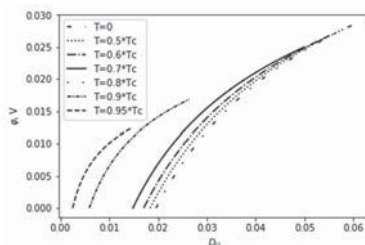
*Д. М. Бабышкина, А. А. Довмалов, студенты;  
рук. А. В. Матасов, асп. («НИУ «МЭИ»)*

## О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ЧАСТИЦЫ

В виду отсутствия общей теории электродинамики сверхпроводящего состояния, затруднительно общее теоретическое описание вольтамперной характеристики большинства сверхпроводящих соединений, что является крайне важным для широкого применения сверхпроводящих материалов.

В работе производится расчет различных зависимостей энергетических параметров сверхпроводящей частицы в потенциальном поле вихря Абрикосова от температуры [1]. Получены зависимости времени жизни частицы в потенциальной яме, глубины проникновения, частоты ударов частицы о потенциальный барьер, размытости энергетического уровня, коэффициента прохождения, потенциальной, кинетической энергии частицы. Получены характерные значения данных параметров при абсолютном нуле, а также около критической температуры для различных купратных, органических и других сверхпроводящих материалов. Получены зависимости критического электрического потенциала от температуры, лондоновской глубины проникновения, длины когерентности; электрического потенциала от коэффициента прохождения. Вид зависимостей качественно соответствует экспериментальным данным.

Полученная зависимость потенциала от коэффициента прохождения (рис. 1), которая представляет качественное описание вольтамперной характеристики сверхпроводников, и зависимость критического электрического потенциала от температуры [2], качественно близки к экспериментальным измерениям и могут использоваться для построения теории сверхпроводимости и разработки новых тоководных устройств на основе сверхпроводников.



**Рис. 1.** Зависимость электрического потенциала от коэффициента прохождения при различных температурах для  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

### Литература

1. **A. Abrikosov**, J. Phys. Chem. Solids. Pergamon Press 1957. Vol. 2. pp. 199–208. [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(57\)90083-5](https://doi.org/10.1016/0022-3697(57)90083-5)
2. **V. Ambegaokar and A. Baratoff**, Phys. Rev. Lett. 10, 486 (1963); 11, 104 (1963)



*А. В. Суханова, студ.; рук-ли: А. И. Тихонов, к.т.н., проф.;  
Д. С. Холодный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ «МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»**

В условиях эпидемии Covid-19 и самоизоляции увеличилась востребованность учебных электронных изданий, причем их разработку приходится выполнять в процессе чтения лекций и проведения лабораторных занятий.

В докладе рассмотрена разработка электронного издания (ЭИ) «Материалы электронной техники», созданного на основе технологии [1], позволяющей осуществлять сборку образовательных ресурсов из разнородного содержимого, включая текстовые документы (в форматах txt, html и pdf), изображения, видео, исходные тексты программ и т. д.

Сборка осуществляется в автоматическом режиме на основе линейно-иерархической структуры ЭИ, формируемой в электронной таблице Excel, которая, в свою очередь, используется для генерации навигационной структуры. Результатом компиляции ЭИ является архив zip, содержащий статический сайт. Применять ЭИ можно либо развернув архив на локальном компьютере, либо опубликовав его на веб-сервере.

ЭИ собран на основе текстовых документов, презентаций и видеозаписей лекций, сделанных Д. С. Холодным при чтении лекций через Cisco Webex, при этом было необходимо выполнить структурирование имеющегося содержимого, преобразование форматов для публикации, обработку и нарезку видео на логические фрагменты с длительностью не более 15 минут, дополнение разделов курса вопросами для самопроверки.

Рассматриваются вопросы компоновки ЭИ с учетом «тяжелого» содержимого — видео. Разработаны две версии ЭИ: локальная версия содержит видео-контент, с нею можно работать без подключения к Интернет, для сетевой версии видео загружено на YouTube, что в свою очередь позволило более чем на порядок уменьшить объем ЭИ.

Показано, что использованная при разработке ЭИ сборочная технология при помощи наработанных шаблонов и инструментов позволяет легко и оперативно вносить в него дополнения и изменения.

В докладе подробно обсуждается структура и содержимое ЭИ, анализируются варианты разветвления и применения его в учебном процессе.

### **Литература**

1. **Sutchenkov A. A., Tikhonov A. I.** Site Generator for Small Open and Private Online Courses,» 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–5 DOI: 10.1109/REEPE49198.2020.9059197.

*А. И. Свистков, А. А. Скворцова, студенты;  
рук. А. И. Тихонов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕРАКТИВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

В настоящее время для повышения наглядности в учебном процессе широко применяются технологии STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics). Их использование предполагает разработку и применение большого числа интерактивных веб-приложений, используемых как в демонстрационных целях, так и для проведения вычислительных экспериментов и виртуальных лабораторных работ.

Общим требованием к такого рода приложениям является низкая трудоемкость разработки и применения, высокая наглядность, возможность создания их неспециалистами в области информационных технологий. В качестве платформы была выбрана экосистема Python, как отвечающая поставленным требованиям, а также из-за наличия огромного числа библиотек для решения прикладных задач, построения пользовательских интерфейсов и веб-приложений.

В докладе подробно рассматриваются и сравниваются существующие технологии для создания интерактивных веб-приложений, включая Django, Flask, Plotly Dash, PyViz Panel, Voila, Streamlit.

Показано, что для построения виртуальных лабораторных практикумов наиболее перспективна технология Plotly Dash благодаря возможности создания клиентских компонентов в виде виртуальных приборов и устройств. В то же время технология достаточно сложна в освоении.

Для оперативного создания интерактивных веб-приложений целесообразно использовать Streamlit и Voila. Последняя технология примечательна тем, что позволяет без доработок использовать элементы пользовательского интерфейса блокнотов Jupyter. Рассматриваются особенности реализации анимации в среде Voila, приводятся примеры разработанных интерактивных веб-приложений, оценивается трудоемкость их разработки. Анализируются средства, обеспечивающие разграничение доступа, а также возможности взаимодействия нескольких приложений.

Анализируются приемы развертывания приложений, управления ими, интеграции в электронные учебники в условиях подразделения университета с помощью The Littlest JupyterHub (TLJH).

### **Литература**

1. **Sutchenkov A. A., Tikhonov A. I.** Embedding Interactive Python Web Applications into Electronic Textbooks, 2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111663

*Т. С. Гришин, студ., И. А. Михайлов, студ.;*  
*рук. Д. С. Холодный, к. ф. -м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) диэлектрических образцов затруднена из-за наличия артефактов изображения, связанных с зарядом поверхности. Одним из способов устранения влияния накопленного заряда является создание тонкого поверхностного проводящего слоя в точности повторяющего рельеф исследуемой поверхности [1]. Как правило, подобные слои создаются методом магнетронного распыления. Однако, использование с этой целью тех же установок магнетронного распыления, которые применяются в технологии создания интегральных микросхем не целесообразно в виду существенного времени процесса. Экспресс-методом создание проводящих слоев является напыление в настольной установке магнетронного распыления со значительно меньшим объемом камеры. Однако, установки такого класса, не всегда позволяют обеспечить соответствие указанному значению толщины напыляемого слоя при величинах последней менее 100 нм.

Целью данной работы была оптимизация параметров распыления для обеспечения наперед заданной толщины пленки при значениях последней вплоть до 10 нм. Подложкой для пленок являлись кремниевые пластины диаметром 100 мм.

- Методом стилусной профилометрии и четырехзондовым методом измерения поверхностного сопротивления  $\rho_s$  исследована однородность пленки по толщине  $h$  в зависимости от радиуса  $r$  для различных режимов напыления
- На основании измерений толщины и поверхностного сопротивления исследована однородность удельного объемного сопротивления для пленок, созданных при различных режимах распыления.

На основании исследований были скорректированы подгоночные коэффициенты для процессов, откалиброваны кварцевые датчики толщины и оптимизированы режимы создания защитных слоев.

### **Литература**

1. **Goldstein J. I. и др.** Coating and Conductivity Techniques for SEM and Microanalysis // Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis.: Springer US, 1992. P. 671–740.

Д. М. Бабышкина, А. А. Довмалов, студенты;  
рук. А. В. Матасов, асп. («НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛЬ ПРОВОДИМОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Композиционные материалы с органической матрицей и углеродным наполнителем представляют практический интерес ввиду широкого применения их в качестве изоляции для кабельных изделий.

Проблемой применения данных материалов служит не до конца исследованный характер проводимости от температуры.

В настоящей работе в качестве механизма проводимости рассматривается туннелирование электронов из частиц наполнителя в соседние частицы. Получено выражение для коэффициента прохождения  $D$  электрона через потенциальный барьер, зависимость сопротивления  $R$  композиционного материала от температуры  $T$ , напряжения  $U$ , коэффициента пропорциональности  $I_0$  между  $D$  и туннельным током, потенциального барьера  $V$ , энергии электрона  $E$ , среднего расстояния между частицами  $x_1$  при  $T=0$ , среднего размера частиц  $x_0$ , линейного коэффициента расширения матрицы  $\alpha_M$  и наполнителя  $\alpha_F$  в случае одномерного расширения (1):

$$R(T) \approx \frac{U}{I_0} * \frac{1 + 0.25 \exp(-2x \sqrt{\frac{2m}{h}(V(T) - E(T))})}{\exp(-2x \sqrt{\frac{2m}{h}(V(T) - E(T))})}; \quad x = x_1(1 + \alpha_M T) - 2x_0 \alpha_F T; \quad (1)$$

Установлено, что упрощенная модель качественно описывает полученные экспериментальные данные для матрицы полиэтилена с включениями сажи в представленном диапазоне температур (рис. 1.).

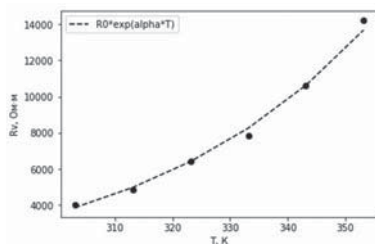


Рис. 1. Зависимость объемного сопротивления от температуры для полиэтилена с включениями сажи

### Литература

1. Spahr M. E., Gilardi R., Bonacchi D. (2017) Carbon Black for Electrically Conductive Polymer Applications. In: Rothon R. (eds) Fillers for Polymer Applications. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28117-9\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28117-9_32)

*В. В. Веретенников, студ.;  
рук. П. И. Лазаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ», г. Зеленоград)*

## **РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСПЛАВОВ**

В настоящее время перспективной альтернативой традиционной энергонезависимой флэш-памяти является электрическая фазовая память (PCM). Однако преждевременный выход из строя ячеек PCM, связанный с процессами разрушения функциональных областей при фазовом переходе «кристалл — расплав» во время операции RESET, является существенным ограничением их дальнейшего развития.

В рамках данной работы был разработан и введен в эксплуатацию аппаратно-программный стенд, позволяющий проводить исследования температурных зависимостей электропроводности расплавов в диапазоне температур от комнатной до 1100°C. Исследовательский стенд включает в себя следующие функциональные узлы: систему контроля и поддержания заданной температуры с применением ПИД — регулирования, систему вакуумирования и напуска инертной атмосферы, а также систему измерения электрофизических свойств.

Для проведения высокотемпературных измерений были разработаны измерительные ячейки специальной конструкции, изготавливаемые методом точного шликерного литья из алунда. Измерительные ячейки представляют собой цилиндры, внутри которых располагается вертикальная рабочая камера щелевого типа размером 80x10x1 мм<sup>3</sup> с боковыми прорезями для подведения графитовых контактов и хромель-алюмелевых термопар. Использование данного типа измерительных ячеек позволяет достичь умеренный расход материала на каждое измерение, устойчивый электрический контакт между электродами и расплавом, а также постоянство плотности тока по длине рабочей камеры,

Для обеспечения автоматизации управления измерительным процессом в аппаратном комплексе, составляющим основу измерительного стенда, с применением графического программирования LabView было разработано программное обеспечение. С его помощью осуществляется управление и контроль работы основных систем стенда, а также получение и визуализация экспериментальных данных. Испытания работоспособности стенда проводились на расплавах Sn, Te и Ge. Полученные результаты испытаний показали хорошую корреляцию с литературными данными.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантом Президента РФ (внутренний номер МК-727.2020.3).*

*Ю. З. Васильева, Р. С. Мартынов, аспиранты;  
А. Я. Пак, к.т.н. (ТПУ, Томск)*

## **ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА МОЛИБДЕНА БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ С КОСВЕННОЙ СИСТЕМОЙ НАГРЕВА ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Получение кристаллических материалов различного состава с заданными свойствами является одной из важных задач современной науки и техники. При этом применяются различные методы синтеза, такие как, химическое осаждение из газовой фазы, карботермическое восстановление, лазерная абляция, электродуговые методы и другие. Интерес к электродуговым методам усилился в последние годы благодаря возможности реализации синтеза без использования вакуума и защитной камеры, что значительно упрощает процесс получения материалов.

Типичное безвакуумное электродуговое устройство состоит преимущественно из источника питания постоянного тока и графитовых электродов [1]. При этом электроды расположены таким образом, чтобы электродуговой разряд проходил непосредственно через смесь исходных компонентов. В таком случае значительная часть массы графитовых электродов попадает в продукт синтеза ввиду их эрозии, существенно загрязняя получаемый материал. В последствии необходимо использовать различные методики для удаления избытка несвязанного углерода. Одним из возможных способов решения данной проблемы является применение косвенной системы нагрева исходной смеси, в которой разряд горит в непосредственной близости к смеси, не проходя через нее [2].

В работе исследованы особенности использования косвенной системы нагрева исходной смеси, состоящей из порошков графита, молибдена и меламин, для получения электрокаталитически активного материала на основе карбида молибдена для применения в возобновляемой энергетике. Проведено сравнение двух схем ввода энергии в систему при проведении синтеза карбида молибдена: косвенный нагрев исходных реагентов тепловой энергией дугового разряда и нагрев непосредственно при наличии исходного материала в зоне инициирования и горения дугового разряда.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90088.*

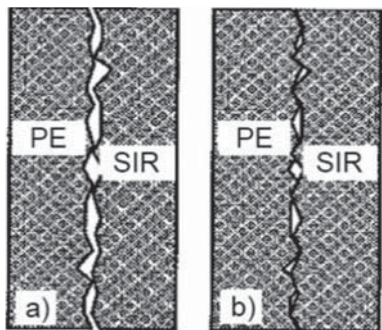
### **Литература**

1. **Пак А. Я., Васильева Ю. З.** Синтез заполненных карбидом вольфрама многостенных углеродных нанотрубок в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока // Российские нанотехнологии. 2019. Т. 14. №. 11–12. С. 23–27.
2. **Мартынов Р. С., Пак А. Я., Мамонтов Г. Я.** Устройство для получения порошка на основе карбида бора // Патент России № 2019111857. 2019. Бюл. № 26.

А. А. Филиппов, асп.;  
рук. С. В. Серебрянников д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ

В системе, где взаимодействие происходит между материалами разной природы, требуется изучение взаимодействия этих материалов. В кабельной системе это взаимодействие поверхностей кабельной арматуры, выполненной из жидкой вулканизируемой силиконовой резины (SIR), и поверхности изоляции кабеля, изготавливаемая из шитого полиэтилена (СПЭ).



**Рис. 1.** Поверхность соприкосновения изоляции кабеля из СПЭ (PE) и силиконовым телом муфты (SIR) при отсутствии внешних сил (а) и при обжатии (б)

Пространство между телом муфты и изоляцией кабеля должно быть дополнительно усиленно электроизоляционной пастой с высокой стойкостью к электрическим и тепловым нагрузкам [1].

Несмотря на наличие таких работ за рубежом, в России изучение данной темы не проводилось. Акцент в работе ставится на влиянии в первую очередь электроизоляционных паст.

В дальнейшем планируется проведение серии опытов, для выяснения степени влияния каждого фактора на электрическую прочность муфты.

### Литература

1. **Kunze D.**, Untersuchungen an Grenzflächen zwischen Polymerwerkstoffen unter elektrischer Hochfeldbeanspruchung in der Garniturentechnik VPE-isolierter Hochspannungskabel, Dis. Dok.-Ing., Universität Hannover, 2000

**Секция 23**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ**  
**И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ**  
**СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**  
**Electrotechnical and electromechanical**  
**systems and complexes**

---

*Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Румянцев Михаил Юрьевич*

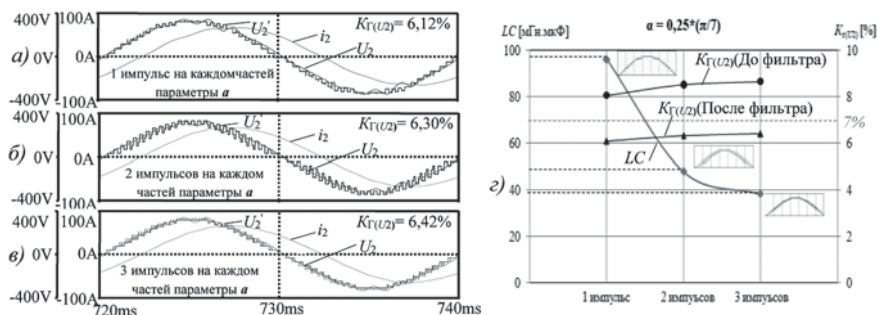
*Секретарь секции: к.т.н. Соломин Александр Николаевич*



Хейн Зо Хтет, асп., рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОДНОФАЗНОМ ИНВЕРТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ С ЧАСТИЧНЫМ ЕГО ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

В солнечных электростанциях в качестве источника питания используются солнечная батарея (СБ). В течение дня освещённость и напряжение СБ могут изменяться. Изменяться может также и ток нагрузки. Для стабилизации выходного напряжения СЭС  $U_2$  в однофазном инверторе напряжения (ОИН) должны быть предусмотрены средства его стабилизации. В настоящем докладе рассматривается решение этой задачи применительно к инверторам класса  $MxN$ -ОИН, который реализует многоканальный принцип преобразования параметров электроэнергии и формирует напряжение  $u_2(t)$  с амплитудно-импульсной модуляцией — АИМ [1]. В рассматриваемом решении СБ выполнена с тремя уровнями напряжения ( $N=3$ ), а число каналов  $M=4$ . В данной работе регулирование предложено осуществлять в пределах каждого интервала квантования напряжения путём переключения (в пределах угла  $\alpha$ ) соседних уровней напряжения СБ с частотой ШИР —  $f_{\text{шир}}$ . Форма напряжения  $U_2$  при таком способе частичного широтно-импульсного регулирования (ЧШИР), характеризуется пониженной глубиной его импульсной модуляции и меньшими его искажениями. Показано (рис. 1), что с ростом частоты  $f_{\text{шир}}$  искажения напряжения  $u_2(t)$  уменьшаются, что позволяет снизить массу выходного фильтра. В качестве средства решения поставленных задач используется имитационное компьютерное моделирование в среде OrCAD.



**Рис. 1.** Осциллограммы рабочих процессов в 4х3-ОИН с АИМ фильтром (при:  $\alpha = 0,25 \cdot (\pi/7)$ ,  $E_{\text{п}} = 330 \text{ В}$ ;  $S_{2(1)} = 10 \text{ кВА}$ ;  $U_{2(1)} = 220 \text{ В}$ ;  $f_2 = 50 \text{ Гц}$ ;  $\cos\varphi_{2(1)} = 0,8$ ): а) ÷ в) — при разном числе импульсов  $n = 1, 2, 3$  на каждом интервале квантования напряжения  $u_2(t)$ ; г) — зависимости произведения  $LC$  фильтра и  $K_c(U_2)$  от значения  $n$

### Литература

1. Мыцык Г. С. Основы теории структурно-алгоритмического синтеза источников вторичного электропитания. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1989. — 109 с.

Хейн Зо Хтет, асп., рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## СИНТЕЗ ОДНОФАЗНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С МНОГОКАНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ТРАКТОМ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Для преобразования солнечной энергии в электроэнергию переменного тока используются солнечные батареи (СБ) и инверторы напряжения (ИН). Структурная особенность СБ состоит в том, что в ней могут быть сделаны промежуточные отводы на заданные уровни напряжения —  $A_i$  (где  $i=2,3,..N$ ). Такая возможность создаёт необходимые предпосылки для структурно-алгоритмического синтеза (САС) многоуровневых ИН, в том числе с амплитудно-импульсной его модуляцией (АИМ). При использовании АИМ можно отказаться от фильтрации выходного напряжения  $u_2(t)$  или реализовать её с использованием минимальных ресурсов. В работе [1] показано, что при синтезе однофазных ИН ( $N$ -ОИН) с АИМ значения параметра  $A_i$  можно оптимизировать по минимуму искажений напряжения  $u_2(t)$ , определяемому коэффициентом гармоник —  $K_{Г(U)}$ . Однако, одноканальное исполнение  $N$ -ОИН при использовании ограниченных по мощности располагаемых ключевых элементов не позволяет эффективно решить задачу повышения его мощности до единиц мегаватт (МВт). Решить задачу можно за счёт использования при САС принципа многоканального преобразования энергетического потока. Преобразуемый энергетический поток при этом разбивается на  $M$  одинаковых частей, а каждая его часть реализуется с помощью  $N$ -ОИН. Такая топология ИН обозначается как  $M \times N$ -ОИН, где произведение  $M \times N$  означает число уровней квантования напряжения  $u_2(t)$  на четверти его периода. Для суммирования токов каналов используются трансформаторы (ТФ) (рис. 1).

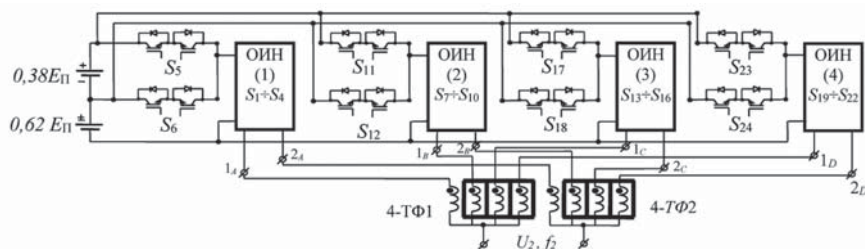


Рис. 1. Структурная схема 4-2-ОИН с 8-уровневым выходным напряжением и двумя 4-х обмоточными ТФ (4-ТФ)

### Литература

1. Hein Zaw Htet, Gennady S. Mytsyk, Hlaing Min Oo. Structural-algorithmic and parametric synthesis of  $N$ -level single-phase voltage source inverters for solar PV system. 2020 International Conference on Science and Engineering (ICSSE2020), Sunport Hall Takamatsu, Kagawa, Japan. 12 October 2020. pp. 1–6.

*К. А. Макаров, студ.; рук. А. Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОИСК РАЦИОНАЛЬНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

В настоящее время вентильные двигатели широко используются в составе регулируемых электроприводов различного назначения. Одним из таких применений является тяговый электропривод. К числу основных требований, предъявляемых к подобным электромеханическим системам, относятся реализация заданной тяговой характеристики при максимальном КПД и минимизации массы и габаритных размеров. Выполнению этих требований способствует в числе прочего и правильный выбор алгоритма управления вентильным двигателем.

В составе вентильного двигателя на практике, в том числе в тяговом электроприводе применяются различные типы электрических машин. Объектом исследования автора является вентильный двигатель на базе индукторной машины с обмоткой возбуждения, достоинствами которой являются бесконтактность, относительная простота конструкции и хорошие регулировочные свойства, обусловленные, в частности, возможностью непосредственного регулирования магнитного потока за счет изменения тока в обмотке возбуждения.

В процессе исследований под алгоритмом управления вентильным двигателем понимался выбор для каждой частоты вращения такого сочетания управляемых величин (тока в обмотке якоря, тока в обмотке возбуждения и угла включения фазы), при которых достигался бы максимальный КПД при обеспечении предельной тяговой характеристики и выполнении имеющихся ограничений — таких как ограничение по имеющемуся напряжению питания, что является важным в случае широкого диапазона изменения частоты вращения.

В качестве объекта исследования был выбран спроектированный вентильный двигатель на базе индукторной машины с обмоткой возбуждения мощностью 170 кВт.

Исследования, проведенные с помощью расчетной программы, показали, что оптимальным алгоритмом является одновременное пропорциональное изменение обоих токов при корректировании угла включения фазы, способствующего в том числе, получению требуемого момента при максимальных скоростях и заданном напряжении.

Достигнутая оптимизация по КПД позволит снизить выделяемые потери и облегчить тепловое состояние электродвигателя или упростить решение вопросов теплоотвода, являющихся для данных применений достаточно напряженным и актуальным.

*А. В. Иванов, асп., рук. А. Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ В СОСТАВЕ ТЯГОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Вентильные двигатели, применяемые в составе различных регулируемых электроприводов, в том числе и тяговых, представляют собой электромеханическую систему, состоящую из инвертора, ключи которого управляются с учетом положения ротора, и электрической машины. Задачей проектирования является выбор рационального алгоритма управления инвертором и подбор такого сочетания размеров, определяющих магнитопровод машины, при которых достигались бы наилучшие значения критериев оптимальности выбранной электрической машины, в качестве которых были выбраны КПД и масса.

Объектом исследований в работе являлся вентильный двигатель на базе индукторной машины с обмоткой возбуждения. Достижение цели по определению варианта индукторной машины, близкого к оптимальному с учетом заданных критериев, затрудняется большим числом варьируемых параметров, связанных с магнитопроводом, и параметров, связанных с алгоритмом управления двигателем. В процессе исследований была предпринята попытка разработки методики, позволяющей достичь результата, используя наиболее важные по отношению к выбранным критериям оптимальности размеры и параметры алгоритма управления.

В качестве основного инструмента расчета была использована программа анализа электромагнитных процессов, протекающих в вентильном двигателе на базе индукторной машины с обмоткой возбуждения, разработанная ранее на кафедре ЭКАО и ЭТ НИУ «МЭИ» и реализующая математическую модель электромагнитных процессов, основанную на методе эквивалентных схем замещения электрической и магнитной цепи [1]. Точность получаемых результатов проверялась исходя из сравнения результатов базового расчета с программой, основанной на методе конечных элементов, — более детализирующей магнитопровод, но не позволяющей достичь цели при проведении оптимизационных расчетов.

Результаты использования методики представлены при различном соотношении важности КПД и массы.

### **Литература**

1. **Русаков А. М., Окунева Н. А., Соломин А. Н., Шатова И. В.** Математическая модель электромагнитных процессов в вентильных двигателях // Вестник МЭИ, 2007. — № 3. с. 33–39.

Д. А. Бережнов, асп. ;  
рук. Ю. М. Иньков, д.т.н., проф. (РУТ (МИИТ) г. Москва)

## ТРЕХУРОВНЕВЫЙ АВТОНОМНЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЕНТИЛЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В настоящее время актуальна задача повышения энергоэффективности мощных высоковольтных преобразователей, применяемых на электроподвижном составе (ЭПС). Для повышения качества кривой выходного напряжения автономные инверторы напряжения (АИН) силовой цепи ЭПС целесообразно выполнять трехуровневыми. При этом, как показано в работе [1], в качестве вентилялей для таких инверторов наиболее эффективно применять полупроводниковые силовые ключи с распределенным электростатическим управлением.

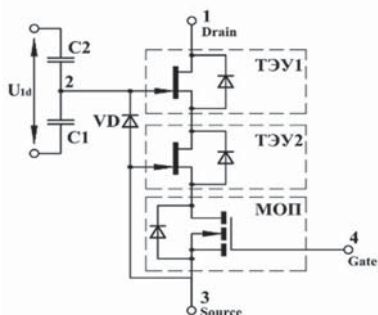


Рис. 1. Базовый элемент высоковольтного силового ключа для трехуровневого АИН

Базовый элемент предлагаемого ключа [2] (см. рис. 1) состоит из двух тиристоров с электростатическим управлением (ТЭУ1 и ТЭУ2), низковольтного МОП-транзистора (МОП) и разрядного диода VD. При этом каскадное соединение ТЭУ2 и МОП-транзистора представляет собой элементарную базовую ячейку с полевым управлением и биполярным типом проводимости. При соответствующем подборе ее конструктивных и технологических параметров она будет иметь минимальные статические и динамические потери мощности, что позволит снизить суммарные потери мощности в ключах на 20–30% по сравнению с IGBT модулями. Целью данного доклада является подтверждение

того, что применение в тяговом приводе ЭПС трехуровневых АИН, силовые цепи которых выполнены на ключах с распределенным электростатическим управлением, позволит получить низкие статические и динамические потери мощности, а также обеспечить возможность повышения максимального напряжения на вентильном плече за счет соединения нескольких ТЭУ в последовательную сборку без усложнения системы управления последовательной сборкой.

### Литература

1. Духнич Е. М. Повышение эффективности работы высоковольтных преобразователей на основе ключей с распределенным электростатическим управлением: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 05.09.12 Силовая электроника — НИУ «МЭИ», Москва, 2019. — 189 с.
2. Патент 177625 Российская Федерация Базовый элемент высоковольтного ключевого устройства / Воронин П. А., Воронин И. П., Духнич Е. М., Печейкина М. А.; патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «ЭНЕРГОМОДУЛЬ». — № 2017131672; заявл. 11.09.2017; опубл. 02.03.2018, Бюл. № 7.

А. О. Ефремов, студент; рук. Г. С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В качестве основных источников электроэнергии на борту беспилотных летательных аппаратов все чаще применяются магнитоэлектрические генераторы (МЭГ), которые обладают преимуществами в массе, эффективности, простоте конструкции и надежности по сравнению с другими видами бесщеточных синхронных генераторов. Особенностью МЭГ является нестабильный уровень выходного напряжения и частоты при изменении нагрузки, частоты вращения авиадвигателя (АД). Для обеспечения стабильным уровнем напряжения и качеством электроэнергии потребителей на борту МЭГ работает совместно с преобразователем напряжения (ПН) [1].

В процессе проектирования МЭГ и ПН возникает необходимость в их совместном имитационном моделировании для согласования уровней входных напряжений, определения степени влияния индуктивностей рассеяния обмоток генератора и трансформатора, предельных значений коэффициента заполнения импульсов силовых ключей, оценки переходных процессов при изменении режимов работы АД. На рис. 1 представлена имитационная модель канала генерирования МЭГ и ПН в программном комплексе Ansys SImplorer для их совместной отработки.

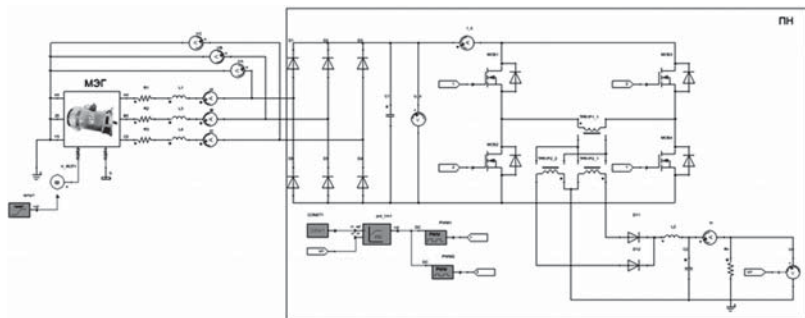


Рис. 1. Имитационная модель канала генерирования МЭГ и ПН

Проведенные полунатурные эксперименты позволили доработать и оптимизировать конструкцию генератора и преобразователя, повысить КПД обоих устройств, выявить особенности на переходных режимах работы.

### Литература

1. Левин А. В., Халютин С. П., Давидов А. О., Жмуров Б. В., Харитонов С. А., Жарков М. А., Харитонов А. С. СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2017; 20(5):50–66.

*А. П. Воловик, асп; А. А. Кирякин, к. т. н., доцент  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМЕ ПУСКА**

Асинхронные двигатели (АД) благодаря своей надежности, простоте обслуживания и относительно низкой себестоимости имеют широкое применение во всех областях промышленности. В настоящее время существует большое количество исследований характеристик АД, в том числе рекомендаций по проектированию малощумных АД. К двигателям предъявляются требования по виброшумовым характеристикам (ВШХ) с точки зрения влияния на человеческий организм, увеличения срока службы двигателя, а также при проектировании специальных электрических машин.

Известные методики проектирования АД рассматривают в основном вибро-возмущающие силы в стационарных (установившихся) режимах работы двигателя. На основе использования современных методов моделирования переходных процессов, расчетов распределений электромагнитных полей [1], а также методов расчета и анализа ВШХ двигателей [2] имеется возможность углубленного изучения виброакустических характеристик. Полученные в ходе исследования и моделирования результаты дают возможность достигнуть заданные требования по ВШХ и выработать рекомендаций по проектированию АД с повышенными требованиями по ВШХ.

Целью работы было определение виброотклика АД в момент пуска, времени выхода в установившийся режим работы двигателя, а также коэффициент затухания вибровозмущения. С помощью современного оборудования проведены исследования электромагнитных и вибрационных характеристик АД в момент пуска.

В настоящей работе приводятся результаты исследований ВШХ АД с короткозамкнутым ротором в режиме прямого пуска.

### **Литература**

1. **Ковач К. П., Рац И.** Переходные процессы в машинах переменного тока. — Л. Госэнергоиздат, 1963
2. **Шубов И. Г.** Шум и вибрация электрических машин — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 208 с.

**Секция 24**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ**  
**И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ**  
**Electrical and electronic apparatuses**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Курбатов Павел Александрович*

*Секретарь секции: Ерохина Екатерина Сергеевна*



*В. П. Федосеева, студ.;*  
*рук. М. С. Сайкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ВИБРОМЕТРА**

В магнитожидкостных виброметрах (МЖВ) наибольший градиент магнитного поля возникает на гранях чувствительного элемента. Это приводит к изменению концентрации магнитных частиц в магнитной жидкости (МЖ) и нарушению стабильности её магнитных свойств. Изменяется время переходного процесса и снижается точность измерения вибраций. Кроме конструктивных мер [1], направленных на снижение градиента магнитной индукции, необходимо провести экспериментальную оценку устойчивости МЖ находящейся в неоднородном магнитном поле МЖВ.

С этой целью на первом этапе определялось значение градиента магнитной индукции при использовании редкоземельных кольцевых магнитов с типоразмерами: K10×5×2,5; K16×10×5; K17,1×10×11. Магниты имели следующие магнитные характеристики: 1 группа — остаточная индукция  $V_r=0,6$  Тл, коэрцитивная сила  $H_{CB}=400$  кА/м; 2 группа — остаточная индукция  $V_r=1$  Тл, коэрцитивная сила  $H_{CB}=680$  кА/м; 3 группа — остаточная индукция  $V_r=1,22$  Тл, коэрцитивная сила  $H_{CB}=800$  кА/м. Для моделирования магнитной системы МЖВ использовалась среда FEMM. Расчётные значения градиента для разных типоразмеров и характеристики магнитов составили от 250 до 500 Тл/м.

На втором этапе проводились экспериментальные исследования по определению устойчивости МЖ при градиенте 500 Тл/м [2]. Магнитная жидкость была изготовлена на основе полиэтилсилоксана, с начальной намагниченностью  $M_{so}=26,2$  кА/м, вязкостью  $\eta=24,3$  Па·с, плотностью  $\rho=1,31$  г/см<sup>3</sup>. Критерием оценки устойчивости МЖ являлось значение коэффициента её перераспределения в неоднородном магнитном поле. Испытания проводились в течение 300 суток.

Длительные испытания показали возможность использования данного типа магнитной жидкости в магнитожидкостных виброметрах при градиенте до 500 Тл/м.

### **Литература**

1. Сайкин М. С., Федосеева В. П. Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 189089 RU, МПК G01H 11/02, Приоритет от 30.01.2019, опубл. 13.05.2019, Бюл. N 14.
2. Дубровин Н. А., Перминов С. М., Сайкин М. С., Сиволап В. В. Стенд для испытаний магнитных жидкостей. А. с. СССР N 1622687, МКИ G01M3/00, опубл. 23.01.91, Бюл N 3.

А. И. Ходаковская, студ.; рук. М. Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

Использование силовых электронных регуляторов в системах электроснабжения является одним из актуальных направлений развития электроэнергетики. Такие устройства применяются в качестве активных фильтров высших гармоник и позволяют регулировать реактивную мощность.

При разработке мощных компенсаторов реактивной мощности возможно использовать комплексный сетевой регулятор, состоящий из мощного компенсатора реактивной мощности (СТАТКОМ) и регулятора, выполняющего функцию активного фильтра (АФ) [1]. Оба устройства имеют одинаковую силовую структуру: полупроводниковый преобразователь переменного тока с ШИМ-модуляцией, который подключается к сети через дроссели, и имеют общее звено постоянного тока (рис. 1).

Основной сетевой регулятор — СТАТКОМ рассчитан на высокую мощность (400 кВА), но имеет низкую частоту коммутации для снижения коммутационных потерь [2]. Дополнительный сетевой регулятор (АФ) выполняет функцию активной фильтрации тока с целью улучшения его гармонического состава тока комплексного регулятора.

В результате моделирования данной системы в программе MatLab/Simulink были проанализированы потери мощностей в обоих преобразователях при разных частотах коммутации основного регулятора, получено значение величины коэффициента нелинейных искажений комплексного сетевого регулятора (THD = 6,7%). Результаты моделирования показали, что следует рассмотреть работу комплексного регулятора при больших мощностях.

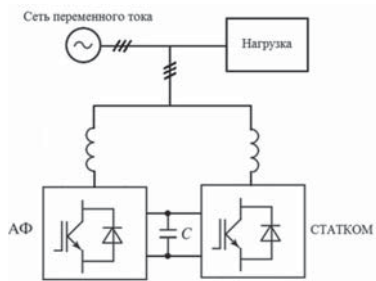


Рис. 1. Блок-схема комплексного регулятора

### Литература

1. Розанов Ю. К. Силовая электроника. — М.: Изд. МЭИ, 2018.
2. Muhammad H. Rashid, Ph.D. POWER ELECTRONICS HANDBOOK DEVICES, CIRCUITS, AND APPLICATIONS. 2 изд. U.S.A: Copyright, 2011.

*Е. С. Суранова, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ «ИНДУСТРИИ 4.0»**

Огромное количество развитых стран переходят к современным цифровым технологиям («Индустрия 4.0»). Данный переход к усовершенствованным роботизированным производствам характеризуется возможностью анализировать множество характеристик технологических процессов, прогнозировать те или иные ситуации на производстве, а также в бытовом секторе. Цифровые технологии внедряются и в сфере электроэнергетики посредством модернизации оборудования электрических сетей, среди которого самым распространенным является низковольтное комплектное устройство (НКУ) [1].

В работе подробно рассмотрен способ подключения уже готового НКУ — устройство автоматического ввода резерва (АВР) — к «Интернету вещей» (Internet of Things, IoT), являющемуся неотъемлемой частью «Индустрии 4.0» [2]. В технологии IoT интернет используется для обмена информацией между машинами, датчиками, устройствами и для дальнейшей ее обработки. Способ подключения НКУ к IoT подразумевает дополнение оборудования НКУ различными датчиками и устройствами обработки и передачи данных, обеспечивающими возможности контроля и управления аппаратной частью НКУ.

Для АВР был разработан дополнительный электронный блок, содержащий: два комплекта датчиков напряжения на оба ввода; комплект датчиков тока; микроконтроллер ESP32 WROOM для сбора и хранения данных, полученных с датчиков; платы согласования сигналов.

В микроконтроллере существует собственный алгоритм обработки данных, который был реализован при помощи графического языка программирования Stateflow в виде блок-схемы заполнения массива данных, формируемого зафиксированными в определенные временные промежутки значениями входного сигнала аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера. Заполненный массив загружается на облачный сервер, где может быть использован для отслеживания характеристик системы электроснабжения [3].

### **Литература**

1. Основы теории электрических аппаратов / Под ред. П. А. Курбатова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 592 с.
2. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. — М.: ДМК Пресс, 2019. — 454 с.
3. Клевцов А. В. Основы рационального потребления электроэнергии. Учебное пособие / А. В. Клевцов. — М.: Инфра-Инженерия, 2017. — 232 с.

В. Н. Круглов, студ.; рук. П. А. Дергачев, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

В связи с необходимостью охлаждения в различных областях деятельности таких как, радиоэлектроника, оптика, медицина, пищевая промышленность, измерительная техника, термоэлектрические охладители получили широкое распространение в последние десятилетия [1]. Столь широкому применению они обязаны ряду достоинств: относительной простоте, высокой надежности конструкции, компактности и экологической безопасности. Термоэлектрический охладитель состоит из  $n$ -ого количества полупроводников  $n$ -типа и  $p$ -типа, соединенных между собой проводящей пластиной, зажатых сверху и снизу двумя керамическими пластинами, обладающими высокой теплопроводностью и малой электрической проводимостью рис. 1. В основе его работы лежит эффект Пельтье о переносе энергии при прохождении электрического тока через стык двух разнородных материалов от одного к другому. В связи с множеством применений термоэлектрического охладителя возникает необходимость в его разработке под каждую поставленную задачу в отдельности. Для упрощения этой задачи удобней использовать математическое моделирование.

Целью данной работы является построение математической модели в современном программном обеспечении с учетом всех факторов, влияющих на работу охладителя, таких как геометрические размеры, используемый материал, температура горячей и холодной стороны и величина протекающего тока.

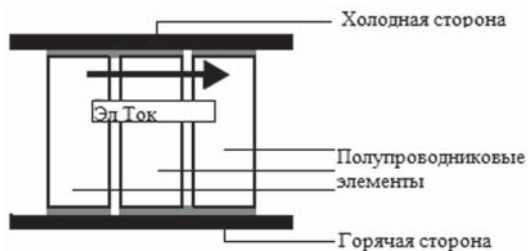


Рис. 1. Образец термоэлектрического охладителя

### Литература

1. Nilakantha P. Performance study of thermoelectric cooler using multiphysics simulation and numerical modelling // International Journal of Ambient Energy. 2019. — С.1–7.

*Н. С. Родькин, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO»**

Рост численности населения планеты напрямую связан с ростом энергопотребления, что приводит к повышению темпа истощения природных ресурсов, особенно для невозобновляемых источников энергии. В связи с этим наиболее перспективным является использование возобновляемых источников энергии, например, солнечной энергии и фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Особенности управления регулятором постоянного тока (РПТ) при работе с нелинейными ФЭП побудили к созданию лабораторной работы по изучению алгоритмов управления, применяющихся для повышения эффективности использования ФЭП.

В рамках лабораторной работы на экспериментальном стенде, состоящем из ФЭП, РПТ и нагрузки, предлагается изучить 3 способа управления РПТ в системе с ФЭП: 1) метод наблюдения и возмущения; 2) метод тока короткого замыкания; 3) метод возрастающей проводимости. Для всех трёх методов характерен недостаток относительно медленной скорости выхода ФЭП на максимальную мощность, что является критичным условием для его работы [1]. Выбор именно этих трёх способов управления РПТ основан на том, что все другие методы управления звеном преобразователя используют похожий принцип работы одного из них.

В качестве проводимых опытов предполагается:

- 1) Исследование характеристик ФЭП в зависимости от освещённости;
- 2) Исследование влияния регулятора постоянного тока на режимы работы ФЭП;
- 3) Исследование влияния параметров алгоритмов управления на энергетические характеристики системы “Модуль ФЭП — Регулятор постоянного тока”.

В описании лабораторной работы представлены математические модели регулятора постоянного тока для ФЭП, методы управления РПТ и примеры адаптации методов управления РПТ для реализации с помощью Matlab/Simulink и платформы Arduino.

### **Литература**

1. Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems. Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, Massimo Vitelli. 2013.

*Г. К. Соловов, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ДВУНАПРАВЛЕННОГО РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МНОГОМОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ (ФЭП)**

Рост потребления энергии в мире стал причиной усиленного внимания к использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Одним из перспективных источников энергии является энергия солнца. Солнечная электростанция состоит из массивов последовательно подключённых модулей ФЭП, работающих в точке максимальной мощности.

Однако отдаваемая мощность модуля ФЭП не постоянна и зависит от множества факторов, например: температура, освещённость и др. При эксплуатации солнечной электростанции неизбежно появление локальных затемнений или изменение характеристик отдельных модулей ФЭП, что может привести к изменению отдаваемого тока затемнённого модуля ФЭП и его перегреву. Решением этой проблемы стало использование двунаправленных преобразователей (ДП), подключённых параллельно к каждому модулю ФЭП. Задача ДП состоит в том, чтобы при затемнении ФЭП компенсировать изменение тока модуля относительно общего тока в шине.

В работе рассмотрены схемы реализации систем ФЭП и ДП. В качестве прототипа для расчета была принята схема последовательного подключения ФЭП с использованием обратного преобразователя в качестве ДП.

По результатам работы была собрана математическая модель ФЭП и обратного преобразователя (в программной среде MATLAB). По результатам был собран макет, состоящий из 4-х ФЭП и ДП. Сравнение экспериментальных и расчётных данных показали правильность предложенной методики расчёта.

### **Литература**

1. **G. Chu, H Wen, L. Jiang, Y. Hu and X. Li**, “Bidirectional flyback based isolated-port submodule differential power processing optimizer for photovoltaic applications” *Sol. Energy* 158, 929–940

*Д. Е. Шерстов, студ.;*  
*рук. М. Г. Лепанов, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ**

Современным средством компенсации реактивной мощности является использование силовых электронных регуляторов на базе накопителей электрической энергии. Помимо компенсации реактивной мощности такие регуляторы могут использоваться в качестве источника питания при отключении сети, сглаживания колебаний активной мощности при сбросах и увеличениях нагрузки [1]. Индуктивные накопители энергии являются перспективным типом накопителей, поскольку в последнее десятилетие происходит активное развитие сверхпроводящих технологий.

Связь накопителя с сетью обеспечивает трехфазный выпрямительно-инверторный преобразователь тока на полностью управляемых силовых электронных ключах, осуществляющий обмен электрической энергией между индуктивным накопителем и сетью низкого напряжения. Алгоритм управления реализован на основе векторной широтно-импульсной модуляции, которая позволяет наиболее эффективно использовать накопитель [2].

Существенное влияние на качество тока, генерируемого компенсатором, оказывает выходной пассивный фильтр преобразователя, необходимый для подавления модуляционных гармонических составляющих тока. Параметры элементов и структура фильтра влияют на характер переходного процесса и точность регулирования тока. Выполнен расчет и исследованы характеристики однозвенного и двухзвенного СL фильтров, а также созданы имитационные модели для исследования режимов регулирования активной и реактивной мощности.

Выбор структуры и параметров выходного пассивного фильтра преобразователя это сложная оптимизационная задача, поскольку в разных режимах работы он оказывает различное влияние. Чтобы этого избежать в системе управления компенсирующего устройства необходимо использовать обратную связь по току, которая позволяет обеспечить требуемое качество регулирования тока в режимах обмена активной и реактивной мощностью с сетью.

### **Литература**

1. **Ter-Gazarian** Energy Storage for Power Systems, 2011 г, 292 стр.
2. **Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин.** Справочник по силовой электронике. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

*Е. А. Зайцев, студ.;  
рук. М. Г. Лепанов, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЕНСАТОР НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА НОВОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ**

В современных системах электроснабжения всё большее внимание уделяется качеству электроэнергии. Это связано с увеличением доли потребителей, являющихся источниками высших гармоник тока и реактивной мощности. Поэтому разработка и внедрение устройств компенсации неактивных составляющих мощности является актуальной задачей в электроэнергетике [1]. Использование компенсатора неактивной мощности на основе силового электронного преобразователя позволяет эффективно решить данную задачу. Устройство подключается параллельно к сети и создаёт ток, равный сумме реактивной и гармонических составляющих тока, потребляемого из сети.

Развитие элементной базы силовой электроники позволяет повышать эффективность и улучшать массо-габаритные показатели преобразовательных устройств за счет применения перспективных силовых транзисторов на основе карбида кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN), которые превосходят традиционные кремниевые полупроводниковые ключи по ряду параметров и характеристик [2].

Проведено компьютерное моделирование устройства в режиме компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник, позволившее исследовать энергетические характеристики компенсатора. Рассматривалось три варианта транзисторных модулей: на базе IGBT и на базе MOSFET (обычных и карбид-кремниевых). Для каждого случая был выполнен теоретический расчет коммутационных и статических потерь, а также расчет потерь посредством модели в Matlab/Simulink, учитывающей мгновенные значения токов приборов и их характеристики, приведенные в технической документации.

По результатам моделирования и расчёта потерь можно сделать вывод, что использование транзисторных модулей на основе SiC MOSFET позволяет существенно уменьшить динамические (коммутационные) потери по сравнению с традиционными IGBT и MOSFET модулями.

Но на данный момент замена кремниевых транзисторов возможна только в достаточно узком диапазоне токов и мощностей.

### **Литература**

1. **И. И. Карташев.** Управление качеством электроэнергии. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. **Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин.** Справочник по силовой электронике. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014.



Р. Г. Апальков, студ.; рук. Ю. Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ КЛЮЧЕВОЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Регулятор переменного напряжения на основе схемы Чука с двунаправленными ключами может использоваться для стабилизации мгновенного значения выходного напряжения. При этом возникают две проблемы: получение опорного синусоидального сигнала и управление регулятором, т. к. преобразователь Чука — неустойчивая система [1].

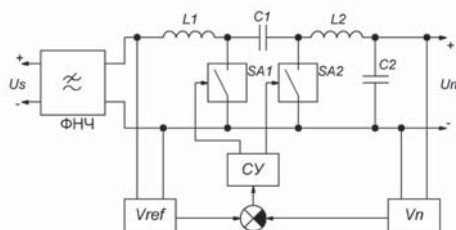


Рис. 1. Схема управления

На Рис. 1 представлена блок схема управления преобразователем.

Сетевое напряжение проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ) и считается блоком формирования опорного напряжения ( $V_{ref}$ ). Данный блок генерирует опорную синусоидальную волну с фазовой автоподстройкой частоты по сети.

Сигнал с блока опорного напряжения сравнивается с сигналом, выдаваемым датчиком напряжения на выходе преобразователя ( $V_n$ ). Разность двух сигналов с блоков формирует ошибку регулирования, поступающая на блок системы управления регулятором (СУ).

Для улучшения качества переходного процесса возможно применение нелинейной СУ, например, по принципу «Одноцикловое управление» (One-Cycle Control) [2], что позволяет уменьшить длительность переходного процесса и величину перерегулирования.

### Литература

1. **Ж. Нойо, Ж. Алкала, Н. Каллеже**, "A High Quality Output AC/AC Cuk Converter", IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference, VOL. 4, February 2004, DOI: 10.1109/PESC.2004.1355292.
2. **М. Кевуе**, "One-Cycle Control of Switching Converters", IEEE Transaction on Power Electronics, VOL. 10, NO. 6, NOVEMBER 1995, DOI: 10.1109/63.471281

Е. С. Ерохина, асп.; рук. Ю. К. Розанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## СЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР L- И LC-ФИЛЬТРАМИ

Одной из важных задач электротехники является улучшение качества электроэнергии, которую можно решить, используя силовые электронные устройства, выполненные на основе структуры сетевого регулятора, состоящего из полупроводникового преобразователя и выходного фильтра [1].

В работе рассматриваются две структуры трехфазного сетевого регулятора (рис. 1): с L- и LC-фильтрами. Его параметры: фазное действующее напряжение сети  $U_{\phi} = 120$  В, номинальное действующее значение тока сети  $I = 4,2$  А, частота сети  $f = 50$  Гц, индуктивность фильтра  $L = 230$  мГн. В качестве метода управления используется гистерезисная модуляция [1]. Ширина гистерезисной петли релейного компаратора —  $\Delta i = \pm 0,1$  А. Тогда напряжение на шине постоянного тока  $U_d$  будет составлять 1200 В [2].

Для того чтобы снизить напряжение на шине постоянного тока до значения  $U_d = 750$  В, последовательно с индуктивностью  $L$  подключается ёмкость  $C$ . Значение ёмкости рассчитывается из формул:

$$X_L - X_C = \frac{U_d/2 - U_{\phi} \sqrt{2}}{I \sqrt{2}}; \quad X_L = 2\pi \cdot f \cdot L; \quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}. \quad (1)$$

При заданных параметрах из формул (1):  $C = 85$  мкФ.

В результате компьютерного моделирования в программном комплексе Matlab Simulink коэффициент гармоник по току в схеме сетевого регулятора с L-фильтром равен  $K_{г,L} = 1,38\%$ , а с LC-фильтром —  $K_{г,LC} = 1,37\%$ . Предложенный LC-фильтр помогает снижать напряжение на стороне постоянного тока, при этом качество тока сети остается на прежнем уровне.

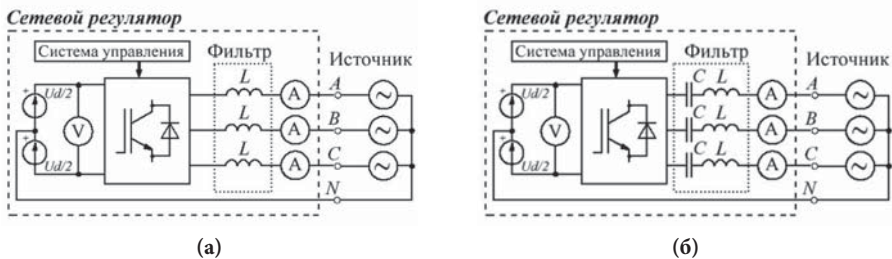


Рис. 1. Сетевой регулятор: (а) — с L-фильтром; (б) — с LC-фильтром

### Литература

1. **Розанов Ю. К.** Силовая электроника. — М.: Изд. МЭИ, 2018.
2. **S. Cobreces, E. Bueno, F. J. Rodriguez, F. Huerta, P. Rodriguez.** Influence analysis of the effects of an inductive-resistive weak grid over L and LCL filter current hysteresis controllers // 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg, Denmark, 2007.

Д. Р. Рубаный, студ.; рук. О. Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ КОНТАКТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На сегодняшний день очень важное место занимает дистанционное управление электрическими цепями. Коммутация электрических цепей необходима во всех отраслях промышленности. Для этих целей чаще всего используют контакторы. Существует три основных типа контакторов: электромагнитный, пневматический и гидравлический. Среди них контактор с приводом при помощи электромагнита переменного тока используется довольно часто. Для замыкания и размыкания контактов в этом случае используется электромагнит переменного тока.

Конструктивно электромагнит переменного тока состоит из магнитопровода, катушки управления и короткозамкнутых витков. Электромагнит для контактора имеет различные конструктивные исполнения, каждое из которых связано со спецификой работы на постоянном или переменном токе. Особенностью электромагнитов переменного тока является наличие на их полюсах КЗ витков, которые необходимы для уменьшения вибрации в условиях переменного магнитного поля [1].

В данной работе выполнен обзор конструкций электромагнитов, создана параметрическая модель в *Comsol Multiphysics* с использованием метода конечных элементов. Эта модель универсальна и её можно использовать при расчете подобных электромагнитов с различными геометрическими параметрами. Катушка электромагнита питается от источника переменного напряжения. Активное сопротивление цепи управления определяется на основании параметров катушки, а индуктивное на основе полевого расчета в автоматическом режиме. На основании этого определяется ток в цепи управления, создающий магнитное поле в электромагните. Переменное магнитное поле пронизывает КЗ витки, наводя в них ЭДС. КЗ витки представляют собой замкнутые электропроводящие контуры с малым сопротивлением. Таким образом, модель позволят рассчитывать магнитное поле в зазоре электромагнита, являющееся суммой полей от катушки управления и КЗ витка и с высокой точностью получать значение электромагнитной силы.

По результатам расчетов получены картины поля и временные зависимости электромагнитной силы. Сделан вывод о специфике работы КЗ витков и их неэффективности при больших воздушных зазорах.

### Литература

1. Сливинская А. Г. Электромагниты и постоянные магниты. Учебное пособие / А. Г. Сливинская. — Москва: Издательство Энергия, 1973 г. — 190 с.

*Б. Б. Крушинов, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РЕЛЕ**

Программируемые интеллектуальные реле являются одной из разновидностей программируемых логических контроллеров. Применение интеллектуальных реле позволяет значительно упростить схемы управления электрооборудованием, повысить их надежность. Отличие интеллектуальных реле от полноценных ПЛК в том, что они обладают малым объемом оперативной и программной памяти, а это приводит к невозможности каких-либо сложных математических вычислений. Кроме того, количество каналов ввода — вывода как цифровых, так и аналоговых у интеллектуальных реле также невелико, поэтому область их применения достаточно ограничена.

Для изучения функциональности и принципа действия реле возможно создание лабораторного стенда. Стенд позволит организовать проведение лабораторных работ при изучении дисциплин, посвященных построению и эксплуатации современных систем управления технологическими процессами, может быть использован проектировщиками систем автоматизации при создании и отладке аппаратных и программных решений и т. д.

При выполнении данной работы были изучены особенности программируемых реле. Был произведен обзор программируемых логических реле разных производителей, были рассмотрены функциональные возможности, конструктивные особенности и общие особенности программируемых реле каждой серии.

Был произведен обзор необходимых для функционирования лабораторного стенда оборудования. Были описаны основные характеристики каждого прибора.

Были разработаны схема внешнего вида и электрическая схема лабораторного стенда для изучения программированного реле.

Было предложено задание для выполнения при помощи лабораторного стенда, разработаны электрическая схема и программа в среде программирования OWEN LOGIC, предназначенные для выполнения этого задания.

### **Литература**

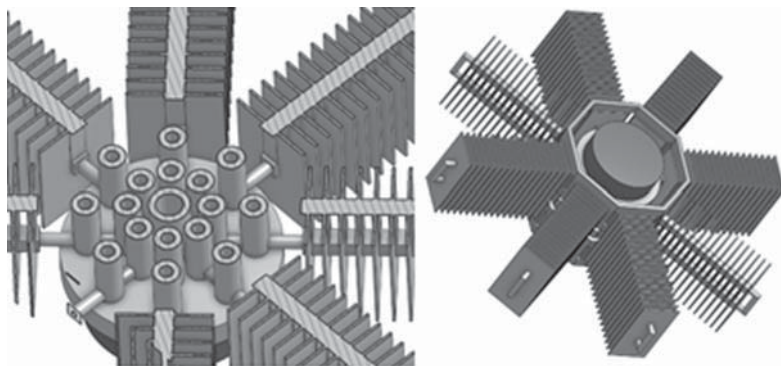
1. Основы теории электрических аппаратов / Под ред. П. А. Курбатова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 592 с.
2. Официальный сайт компании OWEN [Электронный источник]/URL: <https://owen.ru/>.

*И. В. Кириллов, студент;  
рук. П. А. Дергачёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОХЛАДИТЕЛЬ ТИРИСТОРНЫХ СБОРОК ТАБЛЕТЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Одной из важнейших задач в электротехнике является охлаждение [1] электротехнических устройств. Ныне силовая электроника охлаждается принудительным и естественным способом охлаждения. С физической точки зрения охлаждение бывает испарительным, воздушным и водяным. На основе этих способов охлаждения существует множество комбинаций.

Настоящее устройство является относительно компактным, эффективным и мало энергозатратным. Оно представляет из себя комбинированную систему охлаждения, которая совмещает собой воздушный, водяной и воздушный принудительный способ охлаждения.



**Рис. 1.** Конструкция охладителя в разрезе (слева) и в изометрии (справа)

Первые два выполняют охлаждение торцевой поверхности полупроводников, последний же выполняет охлаждение их боковой поверхности, что встречается весьма редко на практике. Между каждой парой полупроводников расположена медная вставка, выполненная посредством двух медных блинов с перемычками в виде полых цилиндров (токоведущих каналов), в которых циркулирует вода через трубки, проходящие через воздушные радиаторы конструкции.

Исследование заключается в применении принципа разбиения тока посредством канальных ламелей и их последующем более активном охлаждении.

### **Литература**

1. **R. v. Erp, G. Kampitsis and E. Matioli**, “A manifold microchannel heat sink for ultra-high power density liquid-cooled converters,” 2019 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Anaheim, CA, USA, 2019, pp. 1383–1389, doi: 10.1109/APEC.2019.8722308.1.

*Е. А. Кущенко, аспирант; Т. А. Золотарев, студент;  
рук. Е. П. Курбатова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ ВТСП**

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) материалы являются одним из перспективных направлений в области электроэнергетики и электротехники. При переходе в сверхпроводящее состояние ВТСП материал способен проводить токи без сопротивления и создавать сильные электромагнитные поля. В настоящее время по всему миру идут научные исследования по созданию различных типов электрических машин с применением ВТСП материалов [1], [2]. Плотность тока современных ВТСП лент, которые также производятся в России, в 100 раз превосходят допустимые значения по сравнению с медными проводниками.

В случае электрического генератора для кинетического накопителя энергии (КНЭ) такое конструктивное решение позволяет избавиться от потерь, вызванных протеканием тока через проводники, а также уменьшить габаритные размеры и вес конструкции. В последнее время наибольший интерес вызывают встроенные генераторы, конструкция которых позволяет совместить маховик и магнитную систему электрической машины. Такая система удобна, отличается надежностью и эффективностью преобразования энергии, однако требует дополнительной проработки с точки зрения механической прочности, теплового состояния.

В докладе представлены результаты проведенного анализа магнитных систем ВТСП генератора, схемы основных возможных вариантов топологии электрических машин для КНЭ с описанием принципа действия, основных недостатков и преимуществ. Выбраны топологии для проведения дальнейших исследований. Рассмотрены возможности использования ВТСП обмотки в качестве обмотки возбуждения и обмотки якоря. Также проработано расположение элементов генератора в КНЭ с учетом возможности интегрирования конструкции в маховик.

### **Литература**

1. **Xianglin Li, Shengwei Liu and Yubin Wang.** «Design and Analysis of a Stator HTS Field-Modulated Machine for Direct-Drive Applications». IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 27, No. 4, 2017, 5201005.
2. **Jae-Sik Jeong, Dong-kyun An, Jung-Pyo Hong, Hae-Joong Kim and Young-Sik Jo.** «Design of a 10-MW-Class HTS Homopolar Generator for Wind Turbines». IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol. 27, No. 4, 2017, 5202804.

*А. В. Цибизов, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO И MATLAB/SIMULINK**

Для получения на выходе силовых электронных устройств стабильных и точных, в пределах погрешности, электрических параметров, таких как ток и напряжение, в силовой электронике применяются системы управления с отрицательной обратной связью (ООС). Система управления строится по принципу получения значения одного из электрических параметров на выходе силового устройства и последующего расчета управляющего сигнала по заданному алгоритму.

Для изучения основ разработки и программирования системы управления был выбран микроконтроллер ATmega328P семейства AVR [2], расположенный на платформе Arduino Nano 3.0 [1]. Программирование осуществлялось в программе MATLAB/Simulink. В качестве способа управления ключом регулятора постоянного тока был выбран метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В процессе написания программы в первую очередь были определены и настроены частота ШИМ сигнала на выводах платформы и частота дискретизации АЦП микроконтроллера, так чтобы АЦП измерял входное значение после того как управляемое устройство отреагирует на сигнал управления. С учетом частоты дискретизации АЦП рассчитано максимально возможное время его преобразования, а также последовательность записи двоичного результата в память микроконтроллера, для достижения максимальной точности преобразования [2]. Также, при помощи MATLAB/Simulink были подобраны коэффициенты ПИ-звена ООС.

По итогам данной работы были разработаны методические указания по настройке среды MATLAB/Simulink для совместной работы с платформой Arduino. Разобрано руководство по разработке алгоритмов управления и настройке системы управления регуляторов постоянного тока.

### **Литература**

1. **Блум Джереми** Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. — СПб.: БЧВ-Петербург, 2015. — 336 с.: ил.
2. **Евстифеев А. В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. — М.: Издательство дом «Додэка-XXI», 2008. — 560 с.

*И. П. Шорсткин, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ МЭИ)»*

## **РАЗРАБОТКА СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

Одним из основных способов закрепления теоретических знаний является выполнение лабораторных работ. Для проведения лабораторной работы студенту необходимо собрать схему испытания на стенде, что зачастую занимает много времени. С развитием цифровой электроники появилось возможность автоматизировать процесс проведения лабораторных работ.

В качестве модернизируемого стенда был выбран стенд для исследования аппаратов защиты и управления двигателями. Стенд состоит из автотрансформатора, понижающего трансформатора, устройств защиты, а также разъёмов для подключения исследуемых аппаратов. Для этого стенда необходимо разработать систему управления, которая позволит дистанционно проводить работы по исследованию: теплового реле, времени включения и отключения контактора, напряжения срабатывания и отпускания контактора, номинальной включающей и отключающей способности [1].

Для управления стендом была выбрана плата Arduino, которая осуществляет управление стендом и измерение контролируемых величин. Так как Arduino не способна напрямую управлять стендом и измерять его сигналы, то основной целью работы стала разработка устройств согласования сигналов. Для этого были решены следующие задачи:

1. Расчет и выбор датчиков, а также проектирование схем согласования для платы Arduino;
2. Проектирование схемы управления стендом;
3. Разработка алгоритма управления стендом на базе платы Arduino [2], [3].

В заключительной части работы для разработанных схем были разработаны макеты печатных платы и эскизная конструкторская документация.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р 50030.4.1-2012 (МЭК 60947-4-1:2009)** Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4. Контакторы и пускатели. Раздел 1. Электромеханические контакторы и пускатели.
2. **Евстифеев А. В.** Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы Atmel. Москва издательский дом «Додэка — XXI» 2008.
3. **Монк С.** Программируем Arduino. ООО Издательство «Питер» 2017.



*А. Д. Каплатый, студ.; рук. М. Г. Киселев, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕТЕВЫМ ОДНОФАЗНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ**

Для решения проблем качества электроэнергии большим потенциалом обладают такие устройства, как активный фильтр на основе полупроводникового преобразователя. По структуре силовой части активный фильтр является идентичным с сетевым регулятором. В регуляторах используются датчики сетевого напряжения, с помощью которых осуществляется синхронизация и вычисление реактивной мощности, а также для вычисления опорного напряжения для подачи на ШИМ-модулятор. Использование датчиков напряжения приводит к повышению комплексности системы, стоимости регулятора, а также повышенных массо-габаритов.

В традиционных алгоритмах управления информация о напряжении сети используется для вычисления опорного сигнала, который подается на пилообразный сигнал для ШИМ-регулирования [1]. В предложенном методе управление переключателями осуществляется путем введения дополнительных контуров управления системой, вычисляющих по току регулятора напряжение сети по второму закону Кирхгофа:

$$U_s(t) = iR + L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

Вычисленное напряжение сети на основе измеренного тока позволяет рассчитать опорный сигнал, который сравнивается с пилообразным для получения импульсов управления транзисторами преобразователя.

В работе разработаны и исследованы модели однофазных сетевых регуляторов с обратной связью по току с датчиком напряжения сети и без датчика напряжения сети. При разработке модели принимались следующие допущения: не использовалось вычисленное напряжение сети для вычисления неактивного тока и для вычисления синхронизированных сигналов.

Анализ результатов моделирования показывает ухудшение коэффициента гармонического искажения тока регулятора, снижение быстродействия системы по сравнению с традиционным методом управления с датчиком напряжения сети.

### **Литература**

1. **Samet Biricik, Soydan Redif, and Malabika Basu.** (2016) Voltage Sensorless Control of Single-phase Active Power Filter Based on the Second-order Generalized Integrator Algorithm

*Е. В. Конюшенко, асп.; Е. Д. Зенько, студ.;  
рук. О. Н. Молоканов, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ МАГНИТНЫХ ПЕРЕДАЧ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

В настоящее время в мире для получения электрической энергии в основном используются не возобновляемые источники, которые оказывают негативное воздействие на экологию. Вместе с проблемой исчерпаемости энергетических ресурсов это побудило многие страны встать на путь постепенного увеличения доли возобновляемой энергетики в структуре выработки электроэнергии. Согласно аналитическим данным Россия обладает самым высоким в мире потенциалом развития ветроэнергетики [1]. Однако развитие этой области идет недостаточно высокими темпами в связи с наличием ряда проблем, таких как невысокая надёжность, большие затраты на обслуживание, а также недостаточная степень локализации производства компонентов ветроэлектростанций.

Лопастей ветроколеса вращаются с малой и переменной скоростью, поэтому для эффективного электромеханического преобразования энергии традиционно используются механические мультипликаторы, использование которых снижает надёжность системы, и требует частого регламентного обслуживания. Работа с непостоянной частотой вращения требует стабилизации параметров выходного напряжения. Для этих целей используются силовые электронные преобразователи, рассчитанные на полную мощность ветроустановки, что значительно повышает её стоимость и снижает степень локализации производства её компонентов.

Для преодоления указанных проблем в работе рассматривается возможность применения бесконтактных магнитных мультипликаторов с регулируемым передаточным отношением. Замена зубчатого зацепления силовым взаимодействием магнитных полей положительно сказывается на надёжности системы, а наличие регулируемого передаточного отношения позволяет значительно уменьшить мощность силового электронного преобразователя [2]. В работе представлены результаты аналитического обзора литературы по перспективным топологиям магнитных передач, составлены их математические модели. Проведен анализ способов обеспечения регулируемости передаточного отношения и сделаны оценки перспектив применения таких устройств в ветроэнергетике.

### **Литература**

1. **International Renewable Energy Agency** Renewable Energy Prospects for the Russian Federation // Irena, 2017.
2. **K. Atallah and D. Howe** A novel high-performance magnetic gear // IEEE Transactions on Magnetics, vol. 37, no. 4, July 2001.

*Д. С. Фёдоров, студ.; рук. О. Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦИКЛОИДНОГО МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Редуктор — это механизм, служащий для изменения угловых скоростей и крутящего момента при помощи механических передач различных типов. Механические редукторы применяются во многих сферах промышленности, они являются неотъемлемой частью многих устройств [1]. Магнитные редукторы выполняют ту же функцию, что и механические, но в них передача крутящего момента происходит бесконтактным образом при помощи силового взаимодействия магнитных полей. Среди магнитных редукторов одним из лучших соотношений момента к габаритным показателям обладает циклоидная топология.

Изучаемый в работе циклоидный магнитный редуктор состоит из постоянных магнитов, которые имеют азимутальное направление намагниченности. Между каждым магнитом размещены стальные вставки. Благодаря этому получается конструкция с концентрацией магнитного потока, что обеспечивает высокие значения магнитной индукции в воздушном зазоре.

В данной работе выполнен обзор конструкций редукторов, подробно рассмотрен принцип действия циклоидных магнитных редукторов. Создана параметрическая математическая модель с использованием метода конечных элементов, которая может быть использована при оценках массогабаритных показателей редукторов различной мощности, а также для оптимизации их характеристик.

В работе выполнено моделирование редуктора с моментом 866 Н·м. Получена плотность момента равная  $289 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}^3$ . Получены картины магнитного поля и найдена зависимости момента от угла поворота. Было проведено сравнение массогабаритных показателей генераторной части ветроустановки при соединении ветроколеса с генератором напрямую и через разработанный магнитный редуктор. Сделан вывод, что при соединении ветроколеса через редуктор, можно значительно уменьшить размеры генераторной части установки, что свидетельствует о перспективности применения магнитных редукторов в ветроэнергетике.

### **Литература**

1. **Анфимов М. И.** Редукторы. Конструкция и расчет: — М., «Машиностроение», изд. 4-е, 1993 г.

*М. С. Денисов, студ.; рук. М. Г. Киселев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Управление силовыми полупроводниковыми преобразователями включает в себя множество функций, необходимые для того, чтобы транзисторный выпрямитель, инвертор, источник бесперебойного питания или другой преобразователь электроэнергии выполнял требования технического задания (ТЗ) в заданных режимах. Для выполнения требований ТЗ по размерам устройства силовая часть проектируется с высокой частотой работы силовых транзисторов с высоким КПД.

Развитие систем управления реального времени, переход на новую элементную базу, в частности применение IGBT-транзисторов интеллектуальных силовых модулей IPM, применение системы прямого цифрового управления оборудованием привело к непосредственному управлению силовыми ключами преобразователей и прямому соединению элементов дискретной автоматики с датчиками с обратной связью.

На рис. 1 приведена блок-схема для управления преобразователем. Насыщение счета таймера ШИМ прерывает выполнение программного кода для переноса данных обработки АЦП из регистров АЦП в переменные программы. По окончании настройки АЦП обновляются для следующего прерывания. Параллельно запускается модуль основного кода, где осуществляется обработка полученных переменных с АЦП, преобразования и формирование выходных сигналов.



**Рис. 1.** Блок-схема программы

Разобрана блок-схема системы управления с ШИМ-модуляцией сетевого регулятора, изучен микроконтроллер T1 семейства TMS320C2000 и возможность его применение для управления четырехквadrантным сетевым регулятором.

### Литература

1. **А. С. Анучин, Д. И. Алянкин, А. В. Дроздов, В. Ф. Козаченко, А. С. Тарасов.** Встраиваемые высокопроизводительные цифровые системы управления — Москва: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Ю. К. Розанов.** Силовая электроника для управления качеством электрической энергии — Издатель LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.
3. **В. Мелешин, В. Овчинников.** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии — Москва: Издательство Техносфера, 2011.

*И. С. Шехмус, студ.; рук. К. В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT — INTERNET OF THINGS) ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Настоящее время является периодом бурного развития Интернета вещей. Это интеллектуальная технология по способам взаимодействия физических объектов, устройств и систем между собой и окружающим миром с применением различных технологий связи. В том числе Интернет вещей позволяет интегрировать и контролировать возобновляемые источники энергии [1]. В нашем случае используется солнечная энергия, как одна из самых популярных видов чистой энергии, которая с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) преобразуется в электрическую.

В данной работе рассматривается создание прототипа устройства, для контроля и управления параметрами модуля ФЭП. Устройство выполнено на базе микроконтроллера ESP32 DEVKIT, с подключенными к нему датчиками. Программная часть реализована в среде программирования Arduino IDE. Полученные данные передаются через модуль беспроводной связи Wi-Fi на web-сервер, где осуществляется их хранение и обработка.

Также представлены результаты эксперимента по передаче показаний датчиков по беспроводным интерфейсам, и приведено описание web-интерфейса для контроля параметров и управления модулем ФЭП.

### **Литература**

1. **Cheddadi Y., Cheddadi H., Cheddadi F., Errahimi F., Es-sbai N.** Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations. Received: 15 October 2019 / Accepted: 30 May 2020 / Published online: 4 June 2020.

*Н. А. Сабайкин, аспирант; рук. М. Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

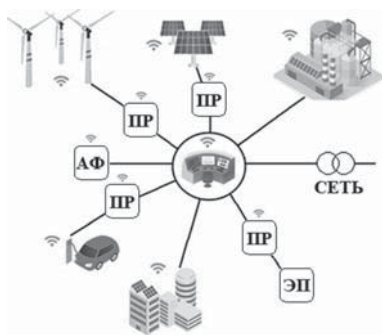
## МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ В УМНЫЕ СЕТИ

Переход от централизованной электроэнергетической системы к децентрализованной является тенденцией последнего десятилетия. Данный переход сопровождается активным внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ), и характеризуется быстрым ростом использования устройств на основе силовой электроники.

Большинство современных устройств для распределенной сети имеют управляемый полупроводниковый преобразователь, с возможностью двунаправленного потока активной мощности и обмена неактивной мощностью. Следовательно, помимо выполнения основной функции, данные устройства могут поддерживать напряжение сети, стабилизировать напряжение и частоту, компенсировать реактивную мощность и уменьшить высшие гармоники тока/напряжения. Разработка алгоритмов управления регуляторами является одной из ключевых задач интеграции данных устройств в сеть.

Разработана модель микросети и алгоритмы управления регуляторами при несбалансированном напряжении в сети, вызванного несимметричной нагрузкой и аварийными режимами сети. Микросеть состоит из шины, к которой подключены активный выпрямитель, сетевой регулятор, выпрямитель с активно-индуктивной нагрузкой и нагрузка, в виде электрического привода.

Отдельно стоящий блок сетевого регулятора с функцией активной фильтрации выполняет функции управления реактивной мощностью, уменьшения искажений и симметрирования токов в трехфазных системах электроснабжения. Активный выпрямитель, помимо питания нагрузки, будет выполнять функции сетевого регулятора при нехватке мощности. Похожим образом функции распределяются между другими преобразователями.



**Рис. 1.** Структурная схема микросети:  
 ПР — преобразователь;  
 ЭП — электрический привод;  
 АФ — активный фильтр

### Литература

1. Q. Zhong and G. Weiss, "Synchronverters: Inverters that mimic synchronous generators," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1259–1267, Apr. 2011.

З. Н. Удачин, студ.; рук. М. Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР С ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Модель прогностического управления стала наиболее используемой стратегией в управлении преобразователем мощности благодаря следующим преимуществам: возможность точного управления, простота включения в систему нелинейности и ограничений, гибкость управления различными переменными.

Основным принципом прогностического управления является вычисление на основе математической модели прогнозной величины тока регулятора [1].

На рисунке 1 представлена структура сетевого регулятора с прогностической системой управления:

- Сетевой регулятор генерирует требуемые гармонические и реактивные токи, который состоит из трехфазного мостового преобразователя с выходными дросселями и конденсатором на стороне постоянного тока;
- Блок вычисления тока задания для выполнения функций компенсации реактивной мощности и активной фильтрации;
- Блок прогнозирования, вычисляющий прогнозные выражение тока для всех возможных состояний переключений преобразователя;
- Блок минимизации функции  $g$ , оптимизирующий погрешность между током задания  $i_f(k)$  и прогнозируемым током  $i_f^p(k+1)$ .

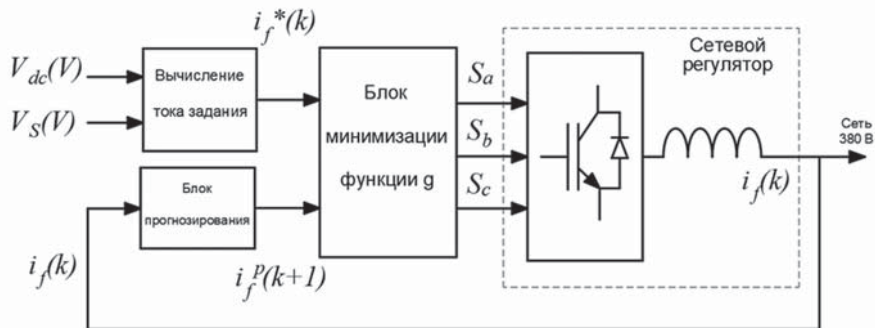


Рис. 1. Структура сетевого регулятора с прогностической системой управления

### Литература

1. Predictive Control in Power Electronics and Drives, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 55, NO. 12, DECEMBER 2008.

*К. Е. Новиков, студ.; рук. М. Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ИНДУКТИВНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ**

В современных электроэнергетических системах актуальной является проблема неравномерности суточных графиков нагрузки. Например, в системе электроснабжения города имеются явно выраженные максимумы и минимумы суточного потребления электроэнергии. Это означает, что производство электроэнергии должно подстраиваться под меняющееся потребление, что сопряжено с рядом сложностей и снижением эффективности. Решением проблемы является использование накопителей энергии, потребляющих мощность во время избытка выработанной электроэнергии и отдающих сохраненные запасы при дефиците. Среди накопителей энергии для реализации данной функции рассматриваются кинетические (маховиковые) накопители и накопители электрической энергии (суперконденсаторы и индуктивные) [1].

Достаточно перспективными являются сверхпроводящие индуктивные накопители энергии (СПИН), что объясняется активным развитием и снижением стоимости сверхпроводящих технологий в течение последнего десятилетия. Помимо выравнивания суточных колебаний мощности в системах электроснабжения СПИН могут использоваться для обеспечения динамической устойчивости в случае резкого снижения вырабатываемой мощности вследствие аварийного отключения генератора или сброса/роста нагрузки. Регулирование мощности осуществляется посредством силового электронного преобразователя на базе транзисторов, что позволяет независимо управлять активной и реактивной мощностью. В качестве дополнительной функции устройства рассматривается компенсация неактивной мощности сети (повышение качества электроэнергии).

Данная работа посвящена исследованию регулятора мощности на основе многоуровневого транзисторного преобразователя, применение которого позволяет упростить структуру выходного пассивного фильтра, обеспечивающего минимизацию искажений формируемого тока, расчет его параметров и выбор элементов. Для исследования алгоритмов управления преобразователем, обеспечивающих выполнение различных функций в системе электроснабжения, и характеристик устройства были созданы соответствующие модели в программе MatLab/Simulink с использованием модели накопителя с заданными параметрами.

### **Литература**

1. X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke. Overview of current development in electrical energy storage technologies // Applied Energy. — 2015. № 137. P. 511–536.



*И. А. Рахманов, студ.; рук. Ю. Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПИЛЬГЕРНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ**

Холоднокатаные трубы нашли широкое применение во всех сферах промышленности, для их изготовления в настоящее время применяется продольная холодная прокатка на станах валкового типа. На пильгерстане движение вдоль оси прокатки совершает рабочая клетка с установленной в ней валками. Привод клетки реализован электродвигателем, соединенным через редуктор с кривошипно-ползунным механизмом. Данная система обладает высокой инерционностью, а также довольно сложна в ремонте. В ходе анализа конструкции было предложено заменить приводной механизм на линейный электропривод.

В результате модернизации могут быть получены следующие преимущества по сравнению со стандартной конфигурацией стана:

1. Темп работы увеличивается в 2 раза, что увеличивает производительность стана (с 80 до 160 двойных ходов в минуту)
2. Уменьшаются затраты времени на ремонт (с 72 ч до 10 ч)
3. Снижается разностенность труб за счет стабилизации динамики системы на 10–12%

Модернизация стана предполагает разработку линейного двигателя с комплексом электроники. Приводной двигатель представляет собой синхронный линейный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Разрабатываемый электропривод используется для линейного перемещения подвижной клетки стана в пределах зоны, определяемой магнитным подвесом. Основные параметры двигателя:

1. Максимально развиваемое тяговое усилие 14 кН.
2. Номинальное развиваемое тяговое усилие 12 кН.
3. Максимальная скорость при максимальной нагрузке 95 м/мин
4. Максимальная скорость при номинальной нагрузке 200 м/мин
5. Фазный ток двигателя 40 А

Линейный синхронный двигатель состоит из двух основных узлов статора и индуктора. Статор двигателя укладывается вдоль путевой структуры, а индуктор размещается на подвижном основании. Активную зону статора образуют 12 полюсов.

### **Литература**

1. **М. И. Гриншпун, В. И. Соколовский.** Станы холодной прокатки труб. М: Машиностроение, 1967. — 240 с.
2. **Е. В. Козаченко.** Линейный тяговые электродвигатели. Информэлектро 1988

*Б. Ф. Кузнецов, асп.; рук. И. И. Соловьев, к.т.н., доц.  
(С(А)ФУ им. М. В. Ломоносова, Архангельск)*

## **ВТСП ГЕНЕРАТОР ВЕТРОАГРЕГАТА С ПРЯМЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

Ветрогенератор — один из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии. Генерация электроэнергии происходит с минимальным воздействием на окружающую среду, не требуя доставки топлива, что особенно важно для Арктики, где поставки затруднены и зависят от постоянно меняющихся погодных условий. Однако ветроагрегаты в арктических условиях подвержены воздействию низких температур от -30 до -60, иногда до -70°C. Это увеличивает хрупкость истирающихся элементов их системы, таких как шестерни редуктора и подшипники, а также приводит к ухудшению качества смазочных материалов в них, что приводит к значительному увеличению количества поломок и ремонтов.

В предыдущих работах [1] были предложены конструкции генератора с интегрированным магнитным мультипликатором, который позволяет отказаться от механического редуктора и работать на низкой частоте вращения без увеличения габаритов генератора. В данной работе будет рассмотрен альтернативный вариант — генератор на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Предложенная в работе концепция генератора [2] с использованием обмоток из ВТСП типа YBCO позволит создавать гораздо большую напряжённость магнитного поля ротора, чем могут создать постоянные магниты, что позволит увеличить мощность генератора, не применяя ни редуктора, ни мультипликатора, что также позволит уменьшить количество подшипников. Однако генератор такого типа потребует дополнительных систем охлаждения ВТСП до температуры сверхпроводимости ниже 90 К, что усложнит его конструкцию. Будет рассмотрена возможность использовать ВТСП подвесы вместо подшипников, что позволит полностью исключить механическое трение, повысит надёжность в условиях низких температур.

На первом этапе работы проведено сравнение различных типов ВТСП генераторов. Исследованы образцы ВТСП лент типа YBCO при воздействии на них магнитного поля.

### **Литература**

1. **Кузнецов Б. Ф., Молоканов О. Н., Курбатов П. А.** Разработка электрогенератора с интегрированным магнитным мультипликатором для ветроагрегата прямого привода // Энергетика. Технологии будущего III. НИУ «МЭИ». 2020. С 100–105.
2. **Fukui S., Ogawa J., Sato T., Tsukamoto O., Kashima N., Nagaya S.** Study of 10 MW-Class Wind Turbine Synchronous Generators With HTS Field Windings // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2011. Т. 21. № 3.

С. А. Шелковникова, студ.;  
рук. Ю. Б. Церковский, старший преп. (НИУ «МЭИ»)

## РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Литий-ионная аккумуляторная батарея состоит из нескольких последовательно соединённых между собой элементов. Эти элементы обладают некоторым разбросом параметров, поэтому во избежание выхода напряжения элемента за допустимые пределы необходим его контроль во время заряда и разряда. Такой системой контроля является Battery Management System (BMS), производящая мониторинг напряжения каждого элемента, а также принимающая меры по защите батареи.

Балансировка батареи может быть пассивная (на резисторах) и активная (ёмкостная, дроссельная, трансформаторная). Трансформаторная балансировка работает только при заряде, дроссельная же может существенно увеличить массогабаритные показатели системы и потребовать дополнительное управление. Ёмкостная балансировка обеспечивает достаточную скорость процесса перекачки энергии между элементами, проста в управлении и способна работать в режиме разряда.

Ёмкостная балансировка обеспечивает передачу энергии из одного элемента батареи в другой через буферные ёмкости. Они выступают в качестве промежуточного звена, в котором хранится передаваемый заряд. Самым простым вариантом является схема с одной буферной ёмкостью на каждый элемент. Главный недостаток — низкая скорость балансировки. Для её увеличения вводится дополнительный конденсатор параллельно двум смежным конденсаторам на двух ячейках. В результате получается двухуровневая ёмкостная балансировка, принцип работы которой представлен на рисунке 1 [1].

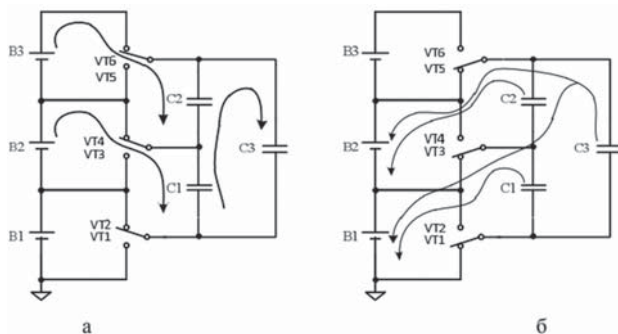


Рис. 1. Передача энергии в двухуровневой ёмкостной типологии:  
а — заряд буферных емкостей C1-C3; б — заряд ячеек B1 и B2

### Литература

1. Е. В. Смотров. Системы балансировки аккумуляторных батарей, 2013. 11 с.

*О. В. Исаева, студ.; рук. А. Р. Денисова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ НА ПКЭ**

Светодиодные источники света в настоящее время вне конкуренции по таким параметрам, как световая отдача, температурные диапазоны эксплуатации, срок службы и др. Проведенные исследования [1] показывают, что в распределительных сетях нелинейность светодиодных источников приводит к существенному искажению формы функции и порождению высших гармоник тока и напряжения.

Об актуальности вопроса улучшения ПКЭ свидетельствуют регулярно проходящие конференции, посвященные вопросам электромагнитной совместимости и качества электроэнергии: CIGRE (Международная конференция по большим электрическим системам), CIREN (Международная конференция по системам распределения электроэнергии) и др.

Вопрос влияния светодиодных ламп на ПКЭ изучается научными группами, однако отсутствует информация, насколько изменятся характеристики электроэнергии, если источники света имеют функцию регулирования светового потока в системах автоматизированного управления освещением [2]. С целью выявления влияния светодиодных светильников с системой регулирования светового потока на ПКЭ нами планируется провести исследования с помощью анализатора качества электрической энергии для группы светильников с автодиммированием. Для исследования был выбран прибор «Энерготестер ПКЭ-А» модификации ПКЭ-А-С4. Для оценки ПКЭ в учебной аудитории была установлена осветительная установка с комбинированным освещением, состоящая из  $n_{св}=8$  светодиодных светильников, мощностью  $P_{св}=40$  Вт каждый с индивидуальным автодиммированием. Анализ показателей и норм качества электроэнергии в учебной аудитории выявил, что использование светильников с автодиммированием позволит значительно уменьшить расходы на электроэнергию, поскольку потребляемая мощность намного меньше, чем у обычных светильников.

### **Литература**

1. Кузьменко В. П., Солёный С. В., Шишлаков В. Ф., Солёная О. Я. Измерение качества электроэнергии в системе электроснабжения со светодиодными осветительными устройствами // Научный вестник НГТУ том 74, № 1, 2019, с. 197–212
2. Денисова А. Р., Сибгатуллин Э. Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1 (58). С. 38–39.

*И. В. Наскин, аспирант;  
рук. М. Г. Киселев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## РЕГУЛЯТОР С МАХОВИКОВЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ СО СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ПОДШИПНИКАМИ

В настоящее время во всем мире остро стоит вопрос повышения качества электроэнергии. Это обусловлено тем, что качество электроэнергии существенно влияет на надежность систем электроснабжения, расход электроэнергии. Для решения данной задачи используют регуляторы качества электроэнергии.

В работе рассматривается создание модели регулятора на основе маховикового накопителя энергии со сверхпроводящими подшипниками, способного решать проблемы кратковременного снижения напряжения сети, дефицита активной мощности и т.д. По сравнению с традиционными батарейными накопителями энергии маховиковые накопители обладают более высоким КПД, являются более надежными и имеют на порядок больший срок эксплуатации [1]. Применение сверхпроводящих подшипников позволяет минимизировать мощность потерь, что в свою очередь дает возможность использовать маховик на высоких скоростях, тем самым запасая большую энергию.



**Рис. 1.** Структурная схема системы с маховиковым накопителем

Энергия, запасаемая в маховиковом накопителе, поступает с выхода инвертора. В периоды отдачи энергии в сеть происходит преобразование кинетической энергии маховика в электрическую, которая попадает в сеть к потребителю. Микроконтроллер, опираясь на полученные данные с датчиков о напряжениях и токах в сети, осуществляет управление системой.

По результатам сравнения результатов математического моделирования в MATLAB/Simulink с экспериментальными данными определяется эффективность применения данного типа регуляторов для решения задач повышения качества электроэнергии.

### Литература

1. **R. Arghandeh, M. Pipattanasomporn, S. Rahman** Flywheel Energy Storage Systems for Ride-through Applications in a Facility Microgrid // IEEE 2015.

*И. В. Манаенков, студент;  
рук. Ю. Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНЫМ СИЛОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Испытания автоматических выключателей на коммутационную стойкость требует от источника тока с высокой токоотдачей от 10 кА до 100 кА, соответственно большой мощности, но в кратковременном режиме, расход энергии небольшой.

В качестве источника идеально подходит конденсатор, имеющий не большой запас энергии и способный отдавать огромную мощность. Использование источников питания большой мощности имеет сложность. Мощности производимых транзисторов не хватает для одиночной использования. Для увеличения тока узла требуется установка нескольких транзисторов параллельно. Параметры транзисторов, даже одной партии, отличается, что соответственно приведет к неравномерному распределению токов, тем самым к возможному перегреву более нагруженного транзистора. С целью ухода от данного недостатка предлагается использовать модульную структуру, где несколько модулей объединяются в один источник большой мощности.

Для тестирования автоматических выключателей модульная архитектура имеет высокую целесообразность. Для разных автоматических токи тестирования различные и соответственно каждый может выбрать нужное количество модулей под определенный тип автоматических выключателей, так же введение стандартизированных модулей уменьшает стоимость готового источника. В случае выхода из строя одного из модулей, остальные могут взять на себя нагрузку или уйти в защиту по необходимости, что повышает надежность устройства и уменьшает вероятность выхода из строя всего источника.

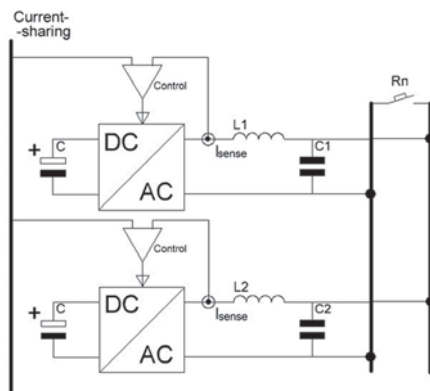


Рис. 1. Блок-схема системы управления с модульными преобразователями

### Литература

1. Основы силовой электроники / Розанов Ю. К. // Энергоатомиздат, 1992
2. Wu, Chao & Lu, Bingjuan & Ge, Yuwang. (2014). A Novel Parallel Current-sharing Control Method of Switch Power Supply. The Open Electrical & Electronic Engineering Journal. 8. 170–177. 10.2174/1874129001408010170.

**Секция 25**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА**  
**Electric drive and automation**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Анучин Алексей Сергеевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Благодаров Дмитрий Анатольевич*

*А. А. Чепига, студ.; Ю. К. Каземирова, асп.;  
рук. А. С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА НОВОГО АЛГОРИТМА ШИМ МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА С МИНИМИЗАЦИЕЙ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ**

Появление многоуровневых каскадных инверторов позволило решить множество проблем, связанных с классическим двухуровневым автономным инвертором [1]:

- снижение величины напряжения на управляемых электронных ключах за счёт их последовательного соединения; как следствие улучшение динамических характеристик силовых ключей и увеличение КПД преобразования энергии;
- увеличение напряжения и мощности путем увеличения количества последовательно включённых силовых ключей либо структурных узлов на их основе, не требующих дорогостоящих элементов;
- снижение искажений синусоидальности выходного напряжения преобразователя и входного тока питающей сети;
- снижение потерь мощности в силовых управляемых ключах.

Однако до сих пор для данного типа преобразователей остается не решенной проблема реализации метода ШИМ, который позволит равномерно распределять коммутационные потери, иметь низкое время обработки и сможет адаптироваться к отказу любой ячейки без влияния на качество выходного напряжения [2].

В данной работе был разработан новый алгоритм ШИМ многоуровневым инвертором с минимизацией коммутационных потерь. Предложен алгоритм распределения коммутаций по ячейкам. Проведены комплексные исследования и получены результаты модельных и макетных испытаний 17-уровневого каскадного преобразователя при формировании ШИМ по разработанной методике.

Разработанный алгоритм формирования ШИМ каскадного преобразователя обеспечивает снижение коммутационных потерь в сравнении с алгоритмами традиционной синусоидальной ШИМ за счет минимизации числа переключений силовых ключей, а также адаптацию к изменению числа уровней и колебаниям напряжений в звене ячеек.

### **Литература**

1. **M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez and M. A. Pérez**, “A Survey on Cascaded Multilevel Inverters,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 7, pp. 2197–2206, July 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2030767
2. **A. B. Vinogradov, A. A. Korotkov**, “Control of a multilevel frequency converter of a power-efficient electric drive,” in *Russian Electrical Engineering*, vol. 88, pp. 212–218, 2017. doi: 10.3103/S1068371217040149.



*А. Е. Петров, студ.;  
рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКОМ**

В настоящее время повсеместно используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Поскольку они требуют высококвалифицированных специалистов, широкое распространение получили станки с цикловой управляющей программой, которые реализовываются на специальных контроллерах движения. Такие станки имеют интуитивно понятный человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) и оператор станка может не иметь слишком высокую квалификацию. При этом в задачах, где от станка требуются ограниченные задачи, например, по реализации типовых циклов движения с подстраиваемыми их параметрами, оператору заметно упрощается работа со станком. [1].

Предлагается модернизация универсального фрезерного станка серии 6532 на основе отечественной системы управления с цикловой управляющей программой. Станок серии 6532 представляет собой трехкоординатный горизонтально-вертикальный (поворотный шпиндель) фрезерный центр, в котором передвижение трех координат обеспечивают сервопривода, управляемые от контроллера и связанные между собой по цифровой шине MESHATROLINK-III.

Система управления состоит из управляющего устройства — контроллера движения стандарта МЭК-61131-3 (motion controller IEC-61131-3), вводных устройств — панели оператора для обеспечения ЧМИ и переносного пульта для удобства работы оператора в режиме ручных перемещений [2].

Разработанная программа включает в себя основные циклы фрезерной обработки: фрезерование плоскости, сверление, глубокое сверление, нарезание резьбы через винтовую интерполяцию, фрезерование кромок, а также функции ручных перемещений — одноосевые перемещения, интерполированные линейные и круговые движения до трех осей включительно, управление осью в режиме штурвала, выход в ноль по конечным выключателям и другое. Модернизированная автоматическая система управления станка разработана и находится на стадии внедрения в производство.

### **Литература**

1. **Волчеквич И. Л.** Проблема рационального использования станков с ЧПУ в отечественной промышленности. Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 5. Ч. 3
2. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016

*Д. С. Внуков, студ.;  
рук. Д. И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИЗУЧЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НИИЭТ К1921ВК01**

Невозможно представить современную систему управления электропривода без использования микроконтроллера, поэтому для лучшего понимания и изучения способов его интеграции в системы управления в магистерской программе кафедры Автоматизированного электропривода заложена дисциплина «Микропроцессорные средства в электроприводе». Программа дисциплины изначально была основана на работе с зарубежным микроконтроллером фирмы Texas Instruments семейства TMS320F280xx. В настоящее время с учетом тренда на импортозамещение выбор сделан в пользу микроконтроллера K1921BK01T фирмы «НИИЭТ», т. к. он обладает всеми необходимыми характеристиками и периферийными устройствами, не уступающими по производительности TMS320F280xx. Так же немаловажным фактором является использование ядра ARM-Cortex-MF4, получившее свою популярность среди микроконтроллеров типа Motor Control за счёт высокой производительности и низкого энергопотребления [1].

Произведена модернизация программы дисциплины в плане подготовки лабораторных работ по изучению вариантов передачи информации с помощью дискретных портов GRIО, сдвигового регистра SPI и семисегментного индикатора [2]. Дальнейшая работа связана с модернизацией курса по описанию работы со следующей периферией: контроллер прерываний, модуль АЦП, модуль ШИМ. Будут разобраны структуры модулей на основе технического описания микроконтроллера, способы их настройки (через таблицы регистров), работа с модулями. Для каждого раздела прилагается подготовка описания и практических заданий на выполнение.

### **Литература**

1. **Козаченко В. Ф., Анучин А. С., Алямкин Д. И., Жарков А. А., Лашкевич М. М., Савкин Д. И., Шпак Д. М.** Практический курс микропроцессорной техники на базе процессорных ядер ARM-Cortex-M3/M4/M4F, Москва 2019, Издательство МЭИ, 541 с.
2. **Внуков Д. С.** Разработка методического описания для лабораторной работы по изучению вариантов передачи информации на панели индикации [Текст] бакалаврская работа (13.03.02) НИУ «МЭИ». — Москва, 2019, 54 с.

*А. Г. Ильин, студ.;*  
*рук. А. Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХ СТРУКТУР ВОДОСНАБЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСОВ**

В современном народном хозяйстве важную роль играет водоснабжение. Развитие электротехники в этой области идет по пути повышения энергоэффективности. Задачи этого направления актуальны для систем водоснабжения и по сей день. В данной работе решается задача выбора наиболее энергоэффективного варианта построения системы водоснабжения при различных структурах электропривода насосного агрегата.

Наиболее распространенными типами напорных систем водоснабжения являются: система с частотно-регулируемым электроприводом и система с водонапорной башней. Каждая из этих систем имеет свои достоинства и недостатки.

В системе с частотно-регулируемым электроприводом вода доставляется потребителю без промежуточного накопителя, что позволяет снизить капитальные затраты. Достоинством таких систем является возможность плавного регулирования давления в системе. Недостатком такой системы является постоянная работа, что приводит к высоким затратам электроэнергии.

В системе с водонапорной башней вода поступает в емкость и далее отводится потребителю. Достоинством таких систем является простота системы управления насоса и его работа при максимальном КПД при периодической работе, вызванная опорожнением и наполнением емкости башни. Недостатком такой системы является невозможность регулирования расхода воды и давления средствами электропривода.

В данной работе проводится сравнение показателей двух систем водоснабжения по энергоэффективности. Оценка проводилась на основе расчёта потребляемой мощности электропривода системы в течение суток. Расчет позволяет оценить потребляемую мощность при различных режимах потребления воды (ночной режим, дневной режим, пиковые значения). Результаты оценки показывают, что система водоснабжения с водонапорной башней является более энергоэффективной. На основе оценки можно сделать заключение о необходимости разработки алгоритмов управления частотно-регулируемого привода системы водоснабжения, которые позволят снизить энергозатраты. Кроме того показано, что для компетентного выбора варианта необходимо учитывать разницу в капитальных затратах и срок окупаемости этой разницы с учетом затрат на эксплуатацию.

М. Ю. Гордеев, студ.;  
рук. Д. И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)

## МОДЕЛЬ ЯВНОПОЛЮСНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Во всем мире складывается устойчивая тенденция к экономии электроэнергии и этого добиваются разными способами. Один из таких способов — увеличение КПД при осуществлении какой-либо работы. КПД важный показатель у электрических машин и именно поэтому сегодня становятся популярными синхронные двигатели. Они, в отличие от уже хорошо известных асинхронных двигателей, имеют больший коэффициент полезного действия. Широкая возможность применения синхронных двигателей также обусловлена быстрым развитием преобразовательной полупроводниковой техники для качественного регулирования приводов на их основе.

Для обеспечения работы синхронного двигателя необходимо использовать специальные алгоритмы управления преобразователем. Соответственно появляется потребность в инженерах, обладающих высокими навыками управления синхронными двигателями. На кафедре Автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ» в курсе «Системы управления электроприводов» рассматриваются алгоритмы управления в среде моделирования *Matlab Simulink* и в среде разработки кода *Code Composer Studio*. Для последней разработаны библиотеки электродвигателей, работа с которыми, студенты получают навыки программирования и изучают основы управления электроприводом.

Сейчас в библиотеке курса только одна синхронная машина — неявнополюсная с постоянными магнитами. Передо мной была поставлена задача о расширении библиотеки электрических машин, добавив модель синхронной явнополюсной машины с учетом насыщения ее магнитной цепи. Основой будет модель, разработанная в системе имитационного моделирования *Matlab Simulink*. Именно ее свойства будем считать эталонными, т. к. подобные модели хорошо теоретически и практически изучены, и их реализация не вызывает трудностей. Во время тестирования модели были проверены основные системы управления при вентильном режиме работы данного синхронного электропривода [1].

Таким образом, была получена модель явнополюсной синхронной машины, максимально приближенная к реальному объекту, и с возможностью использования разных алгоритмов управления.

### Литература

1. А. С. Анучин «Системы управления электроприводов»: Учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 373 с.

А. А. Брагин, студ.;  
рук. Д. И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

## МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С УТОЧНЕННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

При выполнении задач курсового проектирования по дисциплине «Системы управления электроприводов» на кафедре Автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ» студенты часто используют модели электрических машин, в которых применены некоторые упрощения. Одно из часто встречающихся таких упрощений — это принятие в моделях магнитной характеристики электрических машин линейной (Рис. 1. (а)). Была поставлена задача разработать для использования при курсовом проектировании модель асинхронного двигателя, магнитная система которого рассчитывалась бы не как линейная, а как наиболее приближенная к реальности (Рис. 1. (б)).

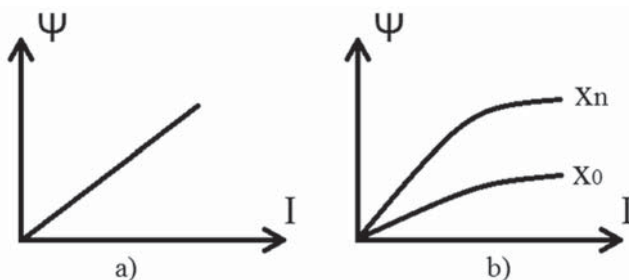


Рис. 1. Линейная(а) и нелинейная(б) кривые намагничивания, где  $x_n$  и  $x_0$  характеристики, зависящие от положения

Для решения поставленной задачи были изучены существующие теоретические подходы, физические процессы, происходящие в электрических машинах, математический аппарат и среда моделирования *Matlab Simulink* [1, 2, 3].

Далее планируется теоретическая проработка математических уравнений, создание математической модели асинхронного двигателя, в которой будет учитываться взаимное расположение статора и ротора, что позволит рассчитывать магнитный поток более точно, создание и проверка в среде моделирования *Matlab Simulink*.

### Литература

1. José M. Aller, Daniel Delgado, Alexander Bueno, Julio C. Viola, José A. Restrepo. «Model of the Induction Machine including Saturation» in Proc. 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE), 2013.
2. A. Charette, J. Xu, A. Lakhsasi, Z. Yao, V. Rajagopalan. «Modeling and validation of asynchronous machine taking into account the saturation effects» in Proc. IAS '96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting, 1996.
3. Ануцин А. С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А. С. Ануцин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 373 с.

*Е. А. Власьевнина, асп.;*  
*рук. О. И. Осипов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРНЫХ ШИН**

Для испытаний тракторных шин и их износа используются специальные лабораторные стенды с имитацией реальных условий эксплуатации шин [1]. Они позволяют оценить их надежность и выявить возможность увеличения срока эксплуатации шин. Для повышения производительности и снижения энергетических затрат при испытаниях шин используется асинхронный частотно-регулируемый электропривод не только основного барабана стенда, но и приводов механизмов вращения шин, с возможностью рекуперации их энергии в общую сеть питания стенда [2]. При этом суммарное потребление энергии связано лишь с преодолением потерь в механизмах вращения барабана и шин.

Приведен анализ технических возможностей асинхронных частотно-регулируемых электроприводов барабана и механизмов вращения шин. На примере технического решения стенда определены мощности элементов его силовой части, построены энергетические диаграммы потоков и потерь мощностей в приводах при испытаниях тракторных шин и степень энергоэффективности предлагаемого решения. Предложены структурные схемы для реализации системы управления электроприводами механизмов вращения барабана и шин, обеспечивающие статическую и динамическую стабильность их работы даже при отличающихся диаметрах испытываемых шин.

На основе логарифмических амплитудно-частотных характеристик чувствительностей передаточных функций различных координат системы управления электроприводом механизма вращения барабана по отношению к изменению его параметров предложены алгоритмы определения возможных дефектов в электроприводе.

### **Литература**

1. **Гребнев В. П.** Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин; под общ. ред. О. И. Поливаева. — 2-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2016. — 260 с.
2. Патент РФ № 2018118740, 22.05.2018. Власьевнина Е. А., Осипов О. И. Энергосберегающий электропривод для стенда испытаний тракторных шин // Патент России № 2682806. 2019. Бюл. № 9.

*Р. В. Скотнов, студ. ;  
рук. О. И. Осипов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

Приводятся результаты исследования частотно-регулируемого электропривода насосной станции при работе одного преобразователя частоты (ПЧ) серии ACS580 на несколько асинхронных двигателей (АД) с равными мощностями в 90 кВт. ПЧ поэтапно подключает-отключает электроприводы параллельно включенных в магистраль насосов, контролируя заданное давление [1]. Переключение ПЧ между двигателями производится поочередно с помощью контакторов. Преобразователь разгоняет двигатель на максимальную частоту 50 Гц и, если это необходимо, переводит затем питание двигателя на сеть, после чего выполняет задание по разгону привода следующего насоса. При таком переключении на сеть важно соблюдать условия равенства амплитуд выходного напряжения ПЧ и питающей сети (с точностью до 2÷4%), равенства их частот (с точностью до 1÷2 Гц) и равенство сдвига фаз между ними (с точностью до 2 эл. градусов). Невыполнение этих условий синхронизации приводит к недопустимому броску токов в обмотках статора АД. При реализации указанных условий возможно использование лишь одного ПЧ для последовательного питания всех насосов.

Понятно, что проблема синхронизации выходного напряжения ПЧ с сетью при таком режиме работы стоит очень остро, поскольку ее несоблюдение может привести к сбою в технологических режимах работы насосов. С целью оценки влияния возможных отклонений параметров выходных напряжений ПЧ и сети проводилось математическое моделирование частотно-регулируемого электропривода типовой насосной станции с применением среды Simulink MATLAB. Для электропривода насосной станции с отрицательной обратной связью по давлению оценивались переходные процессы в его системе управления в пусковых режимах и режимах переключения на сеть при возмущающих воздействиях со стороны управления и нагрузок. Предложенная модель обеспечивает возможность анализа статических и динамических показателей системы управления электроприводом. Планируется экспериментальное исследование статических, динамических и энергетических характеристик систем управления на реальном объекте и сравнение теоретической и практической части.

### **Литература**

1. **Б. С. Лезнов.** Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. ООО «Издательство Машиностроение», 2013.

*В. С. Кузнецов, студ.;  
рук. А. А. Жарков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МОДЕЛЬ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДРАЙВЕРОВ**

В устройствах с дискретным управлением для точного позиционирования исполнительных механизмов, а также в промышленном оборудовании и робототехнике повсеместно используются шаговые электродвигатели.

На сегодняшний день существуют несколько способов управления шаговых электродвигателей: полношаговый режим с включением одной или двух фаз, полушаговый и микрошаговый режимы. Однако у каждого из способов управления есть свои недостатки [1,2].

В полношаговом режиме вращение ротора обеспечивается поочередным включением фаз обмоток статора. В данном режиме невозможно получить полный максимальный момент электродвигателя, так как используется только 50% (для биполярной) или 25% (для униполярной) обмоток машины. В случае одновременного включения двух фаз обмоток статора, максимальный момент может быть увеличен порядка 40%.

Полушаговый способ управления представляет собой комбинацию включений фаз. А именно, при каждом втором шаге запитана одна фаза, в других случаях две. С одновременным использованием драйверов такой способ управления позволяет достигать практически полного момента, без превышения номинальной рассеиваемой мощности.

Микрошаговый режим характеризуется скачкообразным изменением значения тока в фазах обмотки статора. В этом режиме для каждой из фаз принимается различное значение тока, тогда положение равновесия ротора, при включенных двух фазах, будет определяться соотношением этих величин. Изменяя это соотношение можно добиться необходимого количества микрошагов в одном шаге.

В данной работе рассматривается модель шагового электропривода на базе интегрированных драйверов и с использованием способа управления током для сокращения коммутаций. Это приведет к уменьшению потерь, смягчению вибрации и увеличению разрешающей способности, без существенного снижения максимальной частоты вращения и момента шагового электропривода.

### **Литература**

1. **Т. Кенио.** Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. **Ивоботенко Б. А., Казаченко В. Ф.** Проектирование шагового электропривода. М.: Моск. энерг. ин-т. 1985, 100 с.



*Али Юсеф, студ.;*  
*рук. А. С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО МОМЕНТА И НАДЕЖНОСТИ ИНВЕРТОРА В ВЕНТИЛЬНЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С РАСЩЕПЛЕННЫМИ СТАТОРНЫМИ ОБМОТКАМИ**

Максимальный момент тягового привода обычно ограничивается пределом тока силового преобразователя. Вентильные двигатели с расщеплёнными статорными обмотками обеспечивают лучшую управляемость и надежность, чем обычные машины с соединенными в звезду обмотками [1]. Управление машиной с расщеплёнными обмотками может быть оптимизировано не только для повышения эффективности, но и для максимизации выходного момента. Еще одна из основных проблем современных преобразователей и силовой электроники связана с термоциклированием полупроводниковых приборов [2].

Двигатель с расщеплёнными обмотками обеспечивает дополнительную степень свободы, которая может быть использована системой управления различными способами, позволяющая производить один и тот же момент при неограниченном количестве наборов тока задания. Среди этих наборов есть набор с минимальными омическими потерями. Это помогает стабилизировать потери в фазе тягового инвертора, снижая энергоэффективность, но увеличивая время выхода из строя полупроводниковых приборов.

Работа посвящена вопросам: 1 — увеличение максимального момента в тяговых электроприводах, работающих в режиме удержания нагрузки с максимальным моментом; 2 — термоциклирования в тяговых электроприводах и методы регулирования тока в машине с расщепленными обмотками для стабилизации температуры полупроводника. Для данного исследования была разработана математическая модель в среде MATLAB, которая показала, что при использовании активного терморегулирования потери в инверторе остаются постоянными при отклонениях команды тягового усилия даже на низких скоростях, так как эффект термоциклирования уменьшается. Векторное управление током позволяет достичь на 15% более высокого выходного момента для тех же пределов тока инвертора по сравнению с синусоидальным регулированием тока.

### **Литература**

1. **Q. An, J. Liu, Z. Peng, L. Sun, and L. Sun**, “Dual-space vector control of open-end winding permanent magnet synchronous motor drive fed by dual inverter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 12, pp. 8329–8342, 2016.
2. **D. A. Murdock, J. E. R. Torres, J. J. Connors, and R. D. Lorenz**, “Active thermal control of power electronic modules,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 42, no. 2, pp. 552–558, 2006.

*А. В. Пестерникова, студ.;  
рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ**

В горно-шахтной промышленности, как и в других сферах (транспортная, металлообрабатывающая), часто применяются многодвигательные электропривода (МД ЭП) [1]. Свою «популярность» они завоевали такими преимуществами, как надежность, т.е. при отказе одного двигателя рабочее состояние поддерживается другими приводами, а также лучшими динамическими показателями. Система из нескольких приводов имеет большее быстродействие относительно единичного двигателя той же суммарной мощности.

Однако МД ЭП имеют ряд недостатков. К одним из них относится неравномерное распределение нагрузки между приводами относительно их номинальных мощностей. Одни двигатели в такой ситуации могут создавать нагрузку для других, что может привести к перегрузке вторых, а в худшем случае к превышению ими допустимых норм и выхода из строя.

Причинами такого неравномерного распределения нагрузки являются несоответствие параметров двигателей своим каталожным данным (различие параметров двигателей одного идентификационного номера может составлять 10–20%), а также не учет характеристик, которые могут изменяться с течением времени и обуславливаться, например, изменением температуры или износом механических элементов.

Рассматривается вариант системы управления двухдвигательного электропривода постоянного тока шахтной подъемной машины с возможностью выравнивания нагрузок между ее электродвигателями. Предложены рекомендации по выбору параметров регуляторов в подобной системе и коэффициентов перекрестных обратных связей по токам якорной цепи электродвигателей. Дана оценка распределения нагрузок, как в статических, так и в динамических режимах работы приводов.

### **Литература**

1. **Дж. Н. Дочвири, Н. Дж. Берадзе.** Система управления двухдвигательным электроприводом с регулированием возбуждений двигателей и автоматическим распределением нагрузки / Дж. Н. Дочвири // *Электротехнические и компьютерные системы.* № 16 (92), 2014 с. 26–34.

*Ю. Д. Матюх, студ.;  
рук. Ю. М. Сафонов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОБ АДАПТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ МАНИПУЛЯТОРАМИ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ**

В настоящее время актуальной проблемой является управление мехатронными системами манипуляторов с упругими связями. Один из способов управления — управление на основе математической модели. Однако при учете всех внутренних связей и внешних возмущений математическая модель становится громоздкой, требует больших вычислительных мощностей и времени расчета [1].

Эти недостатки отсутствуют при адаптивном управлении. Система управления при таком способе может в себя включать классические ПИ, ПД и ПИД-регуляторы, однако, в систему управления также добавляются адаптивные нейронные сети с обратными связями. Такие системы управления повышают точность работы в динамике, в условиях, когда математическое описание объекта, как и состояние системы недоопределено [2, 3, 4].

В рассматриваемом контексте управления роботом-манипулятором, они могут быть применены при расчете оптимальных траекторий схвата, когда аналитически отыскать решение обратной задачи кинематики не представляется возможным.

Был проведен анализ научных работ в области адаптивного управления с использованием нейронных сетей, показаны результаты проведенных на моделях экспериментов, сформулированы вопросы для дальнейшего исследования.

### **Литература**

1. **Андреев А. С., Перегудова О. А.** Об управлении двухзвенным манипулятором с упругими шарнирами / Нелинейная динамика. 2015. Т. 11. № 2. С. 267–277.
2. **Поляков В. С., Щербаков А. В.** Адаптивная система управления гибкозвенным манипулятором с непрерывным отслеживанием траектории / Молодой ученый № 8 (67). — 2014. — с. 232–234.
3. **Хапкина И. К., Балясный С. В.** Методика синтеза системы управления роботом на базе нейронных сетей / Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 1. С. 179–185.
4. **Забихифар С. Х., Ющенко А. С.** Адаптивная нейросетевая система управления манипулятором / Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции — 2018. — т. 1, № 1. — с. 485–491.

*О. В. Русинка, студ.;*  
*рук. М. Г. Тяпкин, к.т.н., ст. научн. сотр. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ТОКУ В ПРЕЦИЗИОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

Постоянно растущие требования к системам движения рожают спрос на повышение производительности сервоприводов, способных обеспечить большую динамику, точность и гибкость управления. С ростом эффективности и многозадачности повышается и комплексная сложность прецизионных сервоприводов.

Одной из самых распространённых задач в прецизионном электроприводе является разработка системы управления. Одной из основных задач при построении системы управления электропривода является реализация цепи обратной связи по току в условиях высокого уровня шума и помех [1].

Существует множество различных методов реализации считывания сигнала обратной связи по току. В каждом случае необходимо применение фильтров низких частот для предотвращения эффекта наложения высших гармоник шума. Полоса пропускания фильтров зависит от реализации фильтра и конкретного метода считывания. Однако применение фильтров для сигналов датчиков вносит еще одну задержку в систему, и кроме того смещает пульсирующий выходной ток ШИМ преобразователя по фазе, что негативно сказывается на динамике системы и вызывает пульсации оцифрованного тока внутри периода ШИМ [2].

В данной работе рассматриваются методы считывания обратной связи по току, позволяющие скомпенсировать этот эффект за счет многократного считывания сигнала и сдвига момента обработки обратной связи. Рассмотренные методы будут проверены в программном пакете Matlab Simulink по основным показателям качества переходного процесса: пропускной способности замкнутого контура, подавления возмущения и т.д. Дальнейшее исследование будет направлено на получение экспериментальных результатов, которые бы показали, какой из предложенных методов является наиболее эффективным, и что было бы подтверждено сравнением результатов моделирования в Matlab и теоретическими расчетами.

### **Литература**

1. **М. Тяпкин, А. Balkovoi and E. Samygina**, “Current Controller Design of Precision Servo Drive,” 2020 27th International Workshop on Electric Drives: MPEI Department of Electric Drives 90th Anniversary (IWED), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–6
2. **S. N. Vukosavic, L. S. Peric and E. Levi**, “Digital Current Controller With Error-Free Feedback Acquisition and Active Resistance,” in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, no. 3, pp. 1980–1990, March 2018.

*А. А. Чепига, студ.; В. С. Подзорова, асп.;  
рук. А. С. Анучин, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Электроприводы переменного тока для стабилизации момента требуют обязательной информации о положении магнитного потока машины, которая в синхронном электроприводе связана с положением ротора. Наличие датчика положения ротора уменьшает надежность системы электропривода, удорожает его, поэтому для электроприводов переменного тока и успешно применяются бездатчиковые системы управления.

Информацию о положении вала двигателя можно получить несколькими способами [1]. Одним из основных является построение наблюдателя, основанного на оценке ЭДС, что позволяет восстановить положение ротора.

Одним из главных недостатков данного наблюдателя заключается в том, что вычисляемый угол отстает от реального. Данная проблема возникает из-за применения инерционного фильтра. Он устанавливается для убираания низких частот, так как выход релейного регулятора имеет высокочастотные шумы. Чем больше постоянная времени фильтра, тем система лучше определяет угловое положение на низких скоростях, но на высоких это приводит к сильному запаздыванию. При этом запаздывание одинаково по времени независимо от скорости, но на малых скоростях это приводит к меньшей ошибке по углу, чем на больших скоростях.

Решить проблему запаздывания можно при помощи корректировки угла в зависимости от текущей угловой скорости двигателя или, используя для фильтрации ЭДС фильтр Калмана. Однако данные способы могут работать неправильно из-за изменения параметров машины, в следствии нагрева, и требуют существенных вычислительных затрат.

В данной работе предложен оптимальный алгоритм фильтрации ЭДС с применением Sinc-фильтров, применяющихся для восстановления дельта-сигма модулируемых сигналов. Алгоритм показывает высокую точность и малую задержку по сравнению с классическими методами, является простым в реализации и не требует больших вычислительных затрат.

### **Литература**

1. **A. Klein, M. Thielmann and W. Schumacher**, "Sensorless Current and Speed Control of a PMSM Driven with a Delta-Sigma-PWM," 2018 20th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'18 ECCE Europe), Riga, 2018, pp. P.1-P.10.

*И. Ю. Сенаторов, студ.;*  
*рук. А. Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Проблема повышения энергетической эффективности и надежности технологического процесса подачи и распределения воды является одной из основных для систем водоснабжения (СВ). Современные СВ представляют собой сложный комплекс технологических процессов. Электроприводы насосных систем являются одними из основных структурных элементов СВ, так как во многом задают их эксплуатационные возможности и технический уровень в целом, а также существенно влияют на энергетические и технико-экономические показатели работы этой технологии. Поэтому неудивительно, что значительное количество творческой энергии и времени уделяется специалистами вопросам комбинированного энергопотребления насосных систем. Можно индивидуально оптимизировать по показателю энергоэффективности каждый из компонентов, однако актуальным является подход к выбору энергоэффективного решения, когда решение оценивается комплексу показателей СВ в целом.

В данной работе произведено сравнение энергоэффективности двух насосных системы, каждая из которых находит применение в современной практике водоснабжения. Одна система представляет собой группу параллельно включенных насосов, управляемых каскадно от одного преобразователя частоты [1]. Вторая система, где каждый насос такой же группы управляется своим преобразователем той же мощности [2]. Был проведен теоретический анализ, а также энергопоказатели систем исследовались экспериментально. При проведении экспериментов использовался стенд в лаборатории НОЦ «Шнейдер Электрик — МЭИ». Сравнение проводилось по потребляемой мощности в течении времени и разных условиях потребления воды. В результате исследования было установлено, что система, в которой на каждый насос предусмотрен отдельный преобразователь, потребляет меньше электроэнергии в сравнении с параллельно включенными насосами, а также эта система является более гибкой в настройке основных параметров каждого насоса.

### **Литература**

1. **Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко**, Регулируемый электропривод. Энерго- и ресурсосбережение. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 208 с.
2. **Pyu Bakman, Levon Gevorkov** «Speed Control Strategy Selection for Multi-Pump Systems». 56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2015

*Д. В. Тойватов, студ.;*  
*рук. О. И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОБИЛЬНОЙ ПРОХОДЧЕСКОЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ**

Повсеместное использование природных ресурсов приводит к необходимости все большей добычи полезных ископаемых и ввода в эксплуатацию новых шахтных подъемных машин (ШПМ). Основой ШПМ является их электрический привод, от которого зависит маневренность и управляемость подъемных машин [1].

Работа привода ШПМ связана с наличием упругости в подъемных их канатах, возникновением колебаний моментов нагрузок и скорости. Динамические нагрузки на машину и канаты ускоряют износ оборудования, снижают срок службы узлов механизмов ШПМ. Колебания скорости ограничивают точность остановки подъемного сосуда ШПМ.

На примере мобильной проходческой ШПМ 2,6х2,2 ствола шахты «Скипо-Клетьевая» Ново-Учалинского подземного рудника представлены функциональные схемы силовой части ее электропривода и системы управления. Осуществлен выбор элементов силовой части частотно-регулируемого электропривода (система ПЧ-АД). Предварительный анализ динамических характеристик системы ПЧ-АД выполнен в среде MatLab Simulink на основе модели асинхронного электродвигателя с векторной системой управления. Анализируются динамические изменения скорости, момента и токов двигателя. Для проверки данных, полученных с помощью моделирования, планируются экспериментальные исследования на базе лабораторного стенда компании ООО «Электропром», на котором имитируется работа частотно-регулируемого электропривода ШПМ.

При экспериментальных исследованиях на стенде предполагается настройка параметров векторной системы управления путём предварительной автоматической настройки с последующей корректировкой параметров системы управления с целью ограничения динамических нагрузок на электропривод. Результаты экспериментов будут полезны на этапах ввода в эксплуатацию реального объекта.

### **Литература**

1. **А. М. Жидков, О. И. Осипов.** Электропривод барабанных шахтных подъемных машин. Вестник Южно-уральского государственного университета. серия: энергетика. № 11. — 2008. — С. 48–51

*Ф. Б. Гетьманенко, студ.; В. С. Подзорова, асп.;  
рук. А. С. Анучин, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ МАГНИТАМИ**

В настоящее время с развитием энергоэффективных электроприводов стали все чаще применять синхронные электродвигатели. В данной работе применен синхронный двигатель с инкорпорированными магнитами. Данная конструкция ротора позволяет уменьшить диаметр вала, что, соответственно приведет к уменьшению момента инерции. Такая технология позволяет оптимизировать и сердечник статора для достижения синусоидальности распределения магнитного поля, и уменьшения магнитного насыщения, возникающего из-за реакции якоря. Эти двигатели применяют в станках с ЧПУ, где необходима высокая точность и высокая скорость подачи. Высокая точность обеспечивается благодаря низкому уровню момента, вызванного помехами в момент трогания [1, 2].

В данной работе применена система управления по прогнозирующей модели (англ. Model Predictive Control). Эта система управления использует дискретную версию объекта управления для прогнозирования его поведения на следующем этапе моделирования. Вся настройка данной системы сводится к подбору целевой функции. Благодаря простоте настройки она уже сейчас является альтернативой для векторного управления. Такой метод управления целесообразно применять для двигателей с высокой нелинейностью кривой намагничивания [3].

Задачи и результаты работы: создать и настроить систему управления по прогнозирующей модели в среде математического моделирования Matlab/Simulink (т.е. составить целевую функцию); реализовать управление на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС); сравнить полученные результаты с результатами моделирования.

### **Литература**

1. **Fabio Tinazzi, Mauro Zigliotto.** Torque Estimation in High-Efficiency IPM Synchronous Motor Drives, in IEEE Transactions on Energy Conversion · September 2015.
2. **Caifei Wang, Jianxin Shen, Patrick Chi-Kwong Luk, Weizhong Fei, and Mengjia Jin,** Design Issues of an IPM Motor for EPS, The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Volume 31, Issue 1, 2011.
3. **Alecksey Anuchin; Dmitry Aliamkin; Maxim Lashkevich; Valentina Podzorova; Lassi Aarniovuori; Ralph Kennel,** Model Predictive Control with Reduced Integration Step Size for Continuous Control of an IPM Motor, 2019 IEEE International Symposium on Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE).



*Ф. Н. Дурасов студ.; рук. А. Р. Колганов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

В настоящее время моделирование является основным инструментом получения новых знаний, исследования и проектирования технических объектов. Современным подходом к моделированию электропривода является программное обеспечение Matlab Simulink. Однако это не единственный вариант при проектировании электропривода есть альтернативы. Одна из них — это программа отечественного производства SiminTech [1].

В докладе представлены результаты построения моделей систем асинхронного электропривода с векторным управлением в SiminTech и Simulink. Схемы моделей, содержат функциональные блоки для модернизации асинхронного двигателя в ортогональной системе координат  $d$   $q$ , ориентированной по вектору потокоцепления ротора, преобразователей координат, автономного инвертора, блока компенсации перекрестных связей, ПИ-регуляторов тока, скорости и ЭДС. Сравнительный анализ результатов вычислительных экспериментов для асинхронного электропривода с двигателем Lenze MCA17N23 показал практически абсолютное совпадение динамических процессов.

Использование технологии формирования многоуровневых структурных моделей с использованием обеих систем позволяет сравнительно легко их совершенствовать путем модификации отдельных функциональных блоков. Однако, SiminTech, на наш взгляд, является более предпочтительной в силу большей доступности, ориентированности на русскоязычных пользователей, более полным составом библиотеки элементов электропривода, возможностью разделения вычислительных экспериментов для непрерывной и дискретной частей электропривода.

Результаты могут быть использованы при формировании методических и программных средств постановки лабораторных практикумов по электроприводу.

### **Литература**

1. **Калачёв Ю. Н.** SiminTech: Моделирование в Электроприводе. — М.: ДМК Пресс, 2019. — 98 с.: ил
2. **Колганов А. Р.** Структурные модели элементов и систем автоматизированного электропривода / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново. — 116.

*А. А. Алексеев, асп.; рук. В. В. Тютиков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ШПИНДЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Важной частью задачи построения системы ЧПУ металлорежущими станками является разработка системы управления асинхронным двигателем с глубоким ослаблением поля для электроприводов шпиндельной группы. Она должна удовлетворять следующим требованиям: работа в трех зонах регулирования скорости [1], быстрый разгон и торможение на любых скоростях вплоть до максимальной, высокая точность отработки задания, а также возможность позиционирования шпинделя.

Разработана система векторного управления, построенная по принципу подчиненного регулирования. Основными ее компонентами являются: регулятор скорости с возможностью работы в виде регулятора положения, регуляторы токов (активного и намагничивания), регулятор и наблюдатель потока, а также формирователь закона ослабления поля в зависимости от текущей скорости вращения двигателя. Корректная работа этих блоков зависит от знания параметров схемы замещения асинхронного двигателя, для оценки которых составлена методика идентификации.

Для обеспечения максимально быстрого разгона двигателя разработан адаптивный задатчик координат, способный выдавать задание на разгон в зависимости от величины развиваемого двигателем электромагнитного момента с учетом принадлежности текущей скорости вращения к одной из трех зон. Выходными координатами задатчика являются положение и скорость; при этом обеспечивается ограничение максимальных величин ускорения и рывка.

Испытания системы управления проводились на высокоскоростном обрабатывающем центре Ивановского завода тяжелого станкостроения (ИЗТС) «Супер-центр ИС630», где в режиме позиционирования разгон ненагруженного шпиндельного двигателя до скорости 6000 об/мин, что соответствует третьей зоне, занял 1.3 секунды, а торможение — 0.9 секунд. Качество работы в первой и второй зонах подтверждено экспериментально снятыми графиками электромагнитного момента и мощности двигателя. Отклонение от заданной величины во всем диапазоне регулирования не превышало 1%.

### **Литература**

1. **Шрейнер Р.Т. и др.** Трехзонная система векторного частотного управления асинхронным электроприводом / Шрейнер Р.Т., Кривовяз В.К., Шилин С.И., Хабаров А.И. — VIII Международная конференция по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 — т. 1. — Саранск, 2014. — с. 433–437.

*Д. С. Потеряев, студ.;  
рук. Д. И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ BLDC-ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ВЕНТИЛЯТОРОВ**

Работа посвящена изучению свойств и принципа работы BLDC (Brushless Direct Current) — двигателя, а также целесообразности применения данных двигателей в электроприводах вентиляторных установок.

Особенностью применения BLDC-двигателей в системах вентиляции, в отличие от других двигателей, является улучшенные технические характеристики, низкие шумовые характеристики, безопасность, высокий моторесурс и возможность удалённого контроля.

В ходе работы было выяснено, что BLDC-вентиляторы обеспечивают снижение расхода электрической энергии в сравнении с обычными трехфазными асинхронными приводными двигателями для вентиляторов. Вентиляторы с BLDC-двигателями не создают дополнительной шумовой нагрузки при регулировании скорости вращения. У BLDC-вентиляторов практически отсутствуют пиковые пусковые токовые нагрузки за счет того, что встроенный регулятор обеспечивает достаточно плавное нарастание амплитуды переменного тока от нуля до номинального значения. При сравнении двигателей различного типа было определено, что BLDC-двигатель характеризуется высоким КПД.

Для данного исследования в имитационной среде Simulink MATLAB была разработана модель приводной системы постоянного тока Brushless вместе с системой управления скоростью и током. Работоспособность и производительность модели подтверждена широкой программой имитационных исследований.

*А. И. Адамюк, студ.;*  
*рук. Ю. М. Сафонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА**

Основной задачей и необходимостью производства в современном мире является цифровая трансформация для оптимизации ресурсоемкости: сокращение временных затрат на проведение испытаний, настройки и отладки процесса, сокращение финансовых затрат, сокращение затрат на содержание средств производства. Отличным решением данной задачи могут быть цифровые двойники. Цифровые двойники могут копировать уже имеющееся производство или моделировать работу будущего объекта еще на этапе проектирования. Новые проекты можно тестировать в виртуальном пространстве, позволяя сэкономить время и ресурсы на физические испытания, при этом не останавливая производство или процесс создания отдельных испытательных объектов [1–3].

Настоящая работа посвящена изучению возможностей использования цифрового двойника и способов его настройки. Создан цифровой близнец SCARA-робота на участке сортировки. В рассматриваемом случае программное обеспечение устанавливается на ПК, реализуя функции человеко-машинного интерфейса и ПЛК. SCARA-роботы представляют собой жестко зафиксированный в вертикальной плоскости (по оси Z) механизм и гибкую горизонтальную плоскость (по осям X и Y). Достигается такая подвижность в горизонтальной плоскости наличием двух независимых электроприводов.

Цифровой двойник имеет меньше допущений, чем аналогичная математическая модель, поэтому результаты, полученные при использовании цифрового двойника получаются намного точнее.

Проведенное моделирование позволило определить оптимальные траектории перемещения между двумя заданными позициями по минимуму потребляемой энергии, а также по быстродействию. Применение цифрового двойника позволяет получить максимальную производительность робота по известным ограничениям электропривода.

### **Литература**

1. **Michael W. Grieves.** Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication LLC, 2014, 7 p.
2. **Толстых Т. О., Гамидуллаева Л. А., Шкарупета Е. В.** Ключевые факторы развития промышленных предприятий в условиях цифрового производства и индустрии 4.0 // Экономика в промышленности. — 2018. — Т. 11. — №. 1. — С. 11–19.
3. **Bruning J.** Whitepaper: The digital twin. Lenze knowledge № 5. 2019.

*И. И. Ермаков, студ.;*

*рук. Д. И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КУРСА «МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ» ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВМЕСТНО С ПРОГРАММОЙ UNICON**

В учебном курсе «Микропроцессорные системы в электроприводе» (МПС) на кафедре Автоматизированного электропривода (АЭП) НИУ «МЭИ» студенты получают практические навыки в программировании и отладке программ верхнего уровня на языке программирования Си.

В настоящее время в программе курса имеется ограниченность в программных инструментах, используемых студентами для отладки написанных ими программ, поэтому на кафедре АЭП НИУ «МЭИ» принято решение о модернизации учебного курса МПС.

Целью работы является модернизация курса МПС для внедрения и первичного ознакомления студентами с набором программных средств мониторинга и настройки CANopen-совместимых устройств UniCON [1].

UniCON — это уникальное программное обеспечение для организации верхнего уровня согласования персонального компьютера и микроконтроллера, которое также имеет в своем составе встроенный цифровой осциллограф, средства для прошивки микроконтроллера, возможность загрузки и сохранения параметров при наладке программы.

Для решения задачи модернизации курса в учебном процессе были изучены возможности подключения UniCON к персональному компьютеру через физический интерфейс CAN [2], возможности работы с его компонентами. В дальнейшем планируется обновление лабораторного практикума курса МПС с возможностью отладки программ верхнего уровня при помощи UniCON.

### **Литература**

1. Коллектив авторов ООО «НПФ ВЕКТОР». РУКОВОДСТВО ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ UniCON. — ред. ООО «НПФ ВЕКТОР». Москва 2017.
2. Коллектив авторов ООО «НПФ ВЕКТОР». Описание протокола CANopen в реализации ООО «НПФ ВЕКТОР» ред. ООО «НПФ ВЕКТОР». Москва 2017.

*С. А. Новиков, студ.;*  
*рук. Д. И. Савкин, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЁТА НАСЫЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ**

При управлении асинхронными двигателями для математического описания процессов в асинхронной машине используются дифференциальные уравнения, полученные при общепринятых допущениях, часто без учета насыщения магнитной системы. Это предположение выражается в форме постоянства коэффициентов индуктивности. Исходя из этого допущения появляется возможность использовать упрощенные зависимости для описания электромагнитных процессов двигателя, с другой стороны, не учитывая насыщение магнитопровода и потери в стали, снижается точность расчётов при решении задачи поиска энергоэффективного режима работы двигателя. [1]

Нелинейную зависимость коэффициента взаимоиנדукции обмоток статора и ротора в режиме насыщения можно представить в виде полинома 6-й степени, но известно, что микропроцессоры возведение в степень выполняют либо путем многократного умножения, либо с помощью логарифмирования. Такая операция требует, наряду с делением, самого большого относительного интервала времени.

В работе проводится сравнительный анализ быстродействия двух методов учёта нелинейности характеристики: представления характеристики в виде полинома 6-й степени и упрощение характеристики с использованием нечёткой логики и метода идентификации Такаги-Сугено [2]. Использование модели с нечёткой логикой позволяет исключить операцию возведения в степень на микроконтроллере, в отличие от полинома 6-й степени, что позволяет увеличить быстродействие системы. Нечёткая логика в модели осуществляется на базе языка «Си». Разрабатываемая модель может применяться в системах управления электроприводом для повышения точности определения энергоэффективного режима работы асинхронного двигателя.

### **Литература**

1. **Александров Е. В.** Математическое описание асинхронного электродвигателя с учетом потерь в стали, поверхностного эффекта, насыщения магнитной системы основным потоком и потоками рассеяния / Е. В. Александров // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2010. — № 2. — Ч. 2. — С. 243–250.
2. **Takagi T., Sugeno M.** Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1985. Vol. SMC-15, no. 1. P. 116–132.

*В. Г. Отрашкевич, студент;  
рук. Л. Н. Рассудов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗУБЦОВОЙ СИЛЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Зубцовая сила является существенным знакопеременным возмущением синхронных машин пазовой конструкции [1]. Эта сила оказывает негативное влияние на плавность хода электропривода. Негативный эффект наиболее сильно проявляется в диапазоне «средних» скоростей: на малых скоростях возмущение фильтруется массой подвижной части, а на низкой — обрабатывается регуляторами системы управления электропривода. Диапазон этих скоростей индивидуален для каждого электропривода. При этом возможность компенсации возмущения регуляторами на низких (ползучих) скоростях позволяет использовать данные выхода регуляторов для формирования калибровочной таблицы силы. Тогда при использовании полученных на низкой скорости перемещения данных о возмущении на более высоких скоростях наблюдается существенное улучшение плавности хода [2].

Калибровочные таблицы находят широкое применение для компенсации возмущений, вызванных зубцовой силой. Однако их составление связано с проведением операций, связанных с выгрузкой данных из электропривода, обработкой и загрузкой таблицы обратно в электропривод [3]. Современные средства управления электропривода позволяют осуществлять обработку данных «на борту» в автоматизированном режиме. Настоящая работа посвящена разработке модуля захвата и обработки данных в реальном времени для составления калибровочной таблицы силы распределенного прецизионного сервопривода. Для этих целей в системе управления выделено отдельное процессорное ядро.

### **Литература**

1. Балковой А. П., Цаценкин В. К. Синхронные машины с сосредоточенными обмотками для прямого электропривода. Труды МЭИ — 2010. № 686 — стр. 18–27.
2. Балковой А. П., Сливинская Г. А., Капитонец В. К., Морозова Т. Н., Иноземцев Г. И., Рассудов Л. Н. Калиброванное управление силой вентильного двигателя. Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2015. Том 2, № 2, С. 3–6.
3. Рассудов Л. Н., Капитонец В. К., Сливинская Г. А. Калибровка силы прецизионного линейного электропривода. Труды МЭИ № 690, 2014, Стр. 10–18.

*А. А. Корунец, студент;  
рук. Л. Н. Рассудов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ**

В обучении инженерному делу практическая часть учебного процесса является одной из наиболее важных. В условиях пандемии сохранить высокое качество образования возможно за счет перехода на новые технологии, которые создадут альтернативу работы с лабораторными стендами [1].

Использование виртуальных моделей (вплоть до цифровых двойников) реального оборудования — возможность, позволяющая студентам и в условиях дистанционного обучения приобретать необходимые практические навыки. Но и при очном обучении цифровой двойник лабораторного стенда даст возможность студентам, во-первых, проверить свои теоретические представления об объекте, расчеты уже на этапе подготовки к лабораторной работе. При этом как в самой лаборатории, так и в виртуальную модель преподаватель может вносить изменения, для создания ситуаций, близких к тем, что возникают в практической инженерной деятельности. Более того, обучение студентов принципам использования технологии цифровых двойников [2], например, для задач диагностики или удаленного управления объектами расширит внедрение соответствующих технологий в народном хозяйстве. В данной работе планируется создание цифрового двойника лабораторного стенда для исследования электроприводов и их средств автоматизации.

Работа выполнена в рамках проекта «Облачные технологии развертывания цифровых двойников робототехнических систем для решения задач диагностики» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020–2022 гг.»

### **Литература**

1. **Rassudov L.N., Korunets A.A.** / COVID-19 Pandemic Challenges for Engineering Education // 2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), Saint Petersburg, Russia. Oct. 4–7, 2020. DOI: 10.1109/ICEPDS47235.2020.9249285 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9249285>.
2. **Grieves M. and J. Vickers** / Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, in *Trans-Disciplinary Perspectives on System Complexity*, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, and A. Alves, Editors. 2016, Springer: Switzerland. p. 85–114.



**Секция 26**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ**  
**УСТАНОВКИ**  
**Industrial electric-thermal installations**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Федин Максим Андреевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Кулешов Алексей Олегович*

*А. И. Емшанов, студ.; рук. И. Ю. Долгих, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОГО СКВОЗНОГО НАГРЕВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК**

Индукционный сквозной нагрев является прогрессивным электротермическим процессом, ориентированным на осуществление тепловой обработки металлических заготовок для различных технологических операций, связанных с пластической деформацией. Широкому распространению индукционных нагревателей в указанных целях способствуют высокая скорость и равномерность нагрева, минимальные потери материала на окалину, а также возможность регулирования передаваемой в загрузку мощности, что позволяет подбирать оптимальные режимы работы оборудования исходя из допустимого температурного перепада и ограничений на термические напряжения. Однако многообразие материалов, форм и геометрических размеров заготовок делает необходимым проведение предварительных исследований тепловых процессов с целью определения времени нагрева и объёмной плотности тепловыделения, обеспечивающих требуемое распределение температурного поля по объёму изделия.

Существующие аналитические методы расчёта [1] построены на введении понятия «глубина активного слоя», в пределах которой сконцентрированы источники тепла с постоянной плотностью. Кроме того расчёт ведётся при постоянных средних значениях физических свойств материала заготовки и не учитывает тепловые потери в окружающую среду. Перечисленные факторы сказываются на точности и не позволяют использовать получаемые результаты для разработки современных электротехнических систем, обеспечивающих оптимальное управление процессом нагрева.

В данной работе рассмотрен вопрос создания компьютерной модели в программном пакете COMSOL Multiphysics. В основе модели лежит дифференциальное уравнение теплопроводности, позволяющее рассчитывать тепловое поле в пространстве и во времени при учёте температурной зависимости теплофизических свойств материала изделия. Экспоненциальный характер распределения тепловыделения по глубине цилиндрической заготовки и его зависимость от напряжения задаётся аналитическими формулами, полученными в [1] на основе теории электромагнитного поля. Тепловые потери с поверхности заготовки учитываются вводом коэффициентов теплоотдачи конвекцией и излучением. Разработанная модель позволяет определять режимы работы установки, обеспечивающие высокую скорость нагрева при минимальном перепаде температур в заготовке.

### **Литература**

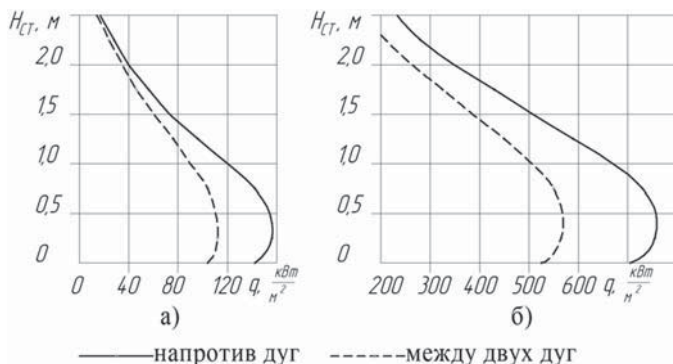
1. **Слухоцкий А.Е.** Установки индукционного нагрева: учеб. пособие для вузов / А.Е. Слухоцкий [и др.]; под ред. А.Е. Слухоцкого. — Л.: Энергоиздат, 1981. — 328 с.

А. В. Крупнов, асп.; А. Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СУММАРНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ТРЕХ ДУГ НА СТЕНУ В ДСП-100

Данное исследование направлено на выявление тепловой нагрузки стен ДСП-100 по высоте в лучепрозрачной и запыленной газовой атмосфере при высоте заглубления дуги равном 71 мм и длине дуги 450 мм.

Представленные на рис. 1 результаты расчетов получены на основе методики изложенной в [1]. Расчеты производились для каждой дуги в точках  $0^\circ$  — напротив дуги,  $60^\circ$  — между двух дуг и  $120^\circ$  — напротив соседней дуги.



**Рис. 1.** Распределение плотностей потоков тепловых излучений от трех дуг по участкам стен в запыленной газовой атмосфере (а) при  $k = 0,7$  и лучепрозрачной (б) газовой атмосфере при  $k = 0$

Наибольший уровень плотности теплового потока наблюдается непосредственно перед дугой, т. к. это наикратчайшее расстояние от дуги до стены. Плотности тепловых потоков в точках  $0^\circ$  и  $120^\circ$  совпадают, т. к. поворот  $120^\circ$  соответствует наикратчайшему расстоянию до стены от дуги другой фазы. Суммарный тепловой поток от трех дуг в запыленной среде в 1,4 раза увеличивается при угле поворота  $0^\circ$  и  $120^\circ$  и в 2 раза при повороте  $60^\circ$  по отношению к тепловому потоку от одной дуги. В лучепрозрачной среде — в 1,8 раза при угле поворота  $0^\circ$  и  $120^\circ$  и в 2 раза при повороте  $60^\circ$  по сравнению с тепловым потоком от одной дуги.

### Литература

1. Макаров А. Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014.

*М. В. Коновалов, студ.;*  
*рук. И. Ю. Долгих, к.т.н., Г. В. Чекан, к.т.н. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК**

Поверхностная закалка является распространённым видом термической обработки, широко используемым в машиностроении для получения деталей с твёрдым износостойким поверхностным слоем при сохранении пластичной и устойчивой к механическим ударам сердцевины. Технология осуществления указанного процесса основывается на быстром нагреве детали на требуемую глубину до температуры структурных превращений и последующем форсированном охлаждении. Исходя из этого, наиболее подходящим для поверхностной закалки является индукционный метод нагрева, позволяющий за счёт поверхностного эффекта концентрировать значительные по величине удельные мощности в узком слое обрабатываемого объекта [1]. Однако разнообразие деталей и предъявляемых к ним требований делает необходимой разработку точных математических моделей, позволяющих определять распределение температурного поля в интересующей области при учёте влияния параметров процесса и условий охлаждения на эксплуатационные свойства изделия.

В данной работе рассмотрен вопрос создания электротепловой модели, реализованной в программном пакете COMSOL Multiphysics в виде совместного решения электромагнитной и тепловой задач. Исследование электромагнитных процессов основывается на расчёте распределения векторного магнитного потенциала в области моделирования, посредством которого определяются плотности тока и тепловыделения в индукторе и цилиндрической заготовке. Полученные данные используются при расчёте сосредоточенных параметров (комплекс полного сопротивления индуктора, его индуктивность, комплекс полной мощности индукционной установки, коэффициент мощности и электрический КПД), а также подаются в блок тепловой модели, посредством которой определяется распределение температурного поля в пространстве и во времени. При этом влияние температурной зависимости физических свойств изделия учитывается вводом соответствующих функций на основе табличных данных для заданного материала. Разработанная модель может быть использована при выборе конструктивных и технологических параметров оборудования, обеспечивающих требуемые характеристики исследуемого процесса.

### **Литература**

1. **Фомин Н.И.** Электрические печи и установки индукционного нагрева / Н.И. Фомин, Л.М. Затуловский. — М.: Металлургия, 1979. — 247 с.

А. В. Крупнов, асп.; А. Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СУММАРНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ТРЕХ ДУГ НА ВАННУ МЕТАЛЛА В ДСП-100

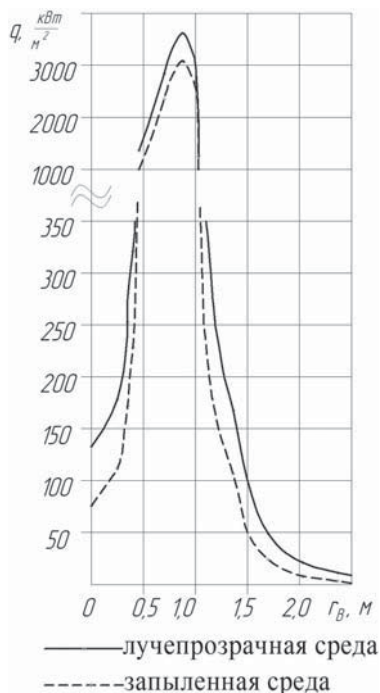


Рис. 1. Распределение плотности потока теплового излучения от трех дуг по ванне металла

Исследование направлено на выявление распределения теплового потока излучения на ванну металла в ДСП-100 в лучепрозрачной и запыленной газовой атмосфере при высоте заглибления дуги равном 71 мм и длине дуги 450 мм.

Результаты расчета, выполненные на основе [1], обобщены и представлены на рис. 1.

Из полученных результатов выявлено:

1. Влияние смежных дуг на плотность теплового потока незначительно и составляет 5–20% для точек лежащих на радиусе от 0,25 до 2,5 м, а в точке 0 увеличивается до 50%.
2. Плотность суммарного теплового потока от трех дуг в центре ванны для запыленной и лучепрозрачной среды составляет соответственно 76 кВт/м<sup>2</sup> и 133 кВт/м<sup>2</sup>; от одной дуги — 25 кВт/м<sup>2</sup> и 44 кВт/м<sup>2</sup> соответственно.
3. На периферии ванны плотность теплового потока незначительна и близка к нулю.
4. Зона наибольшего теплового потока лежит в границах радиуса 0,25–1,25 м от центра ванны, с выраженным пиком под дугой.
5. Запыленность атмосферы печи ослабляет плотность теплового потока на ванну металла на 15–20% в радиусе 0,3 м от центра дуги и на 30–50% при удалении от дуги более 0,3 м.

### Литература

1. Макаров А. Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014.

*А. Д. Семин, студ.;*

*рук. И. Ю. Долгих, к. т. н., М. Г. Марков, к. т. н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ И АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

В настоящее время распространённым типом электротермического оборудования, применяющегося в металлургическом производстве, являются индукционные тигельные печи, принцип работы и конструктивные особенности которых определяют широкий спектр преимуществ и технологических возможностей при выплавке металла в агрегатах на их основе. Так, например, интенсивная электродинамическая циркуляция расплава в тигле обеспечивает получение чистых многокомпонентных сплавов заданного химического состава, а возможность управления передаваемой в загрузку тепловой энергией позволяет создавать электротехнические комплексы и системы, ориентированные на автоматизацию осуществляемого процесса. Получаемая при этом информация может быть использована не только для обеспечения требуемого рабочего режима установки и технологических параметров процесса плавки, но и контроля состояния элементов оборудования.

Представленная работа посвящена разработке микропроцессорной системы, ориентированной на мониторинг остаточной толщины огнеупорной футеровки тигля, визуализацию уровня его износа и в случае необходимости аварийное отключение печи от источника питания. Функционирование комплекса основывается на непрерывном измерении температуры в контрольных точках на границе слоёв подины и основания тигля и сравнении полученных значений с уставками, определяемыми предварительно при различных уровнях износа [1]. Измерение температуры осуществляется с помощью термопар, информация с которых поступает в коммутатор и далее через усилитель на вход АЦП. Полученная информация подвергается математической обработке и по последовательному интерфейсу передаётся на светодиодную панель, визуализирующую текущее состояние футеровки, и в блок управления источника питания, обеспечивающего отключение печи при достижении критического уровня разрушения тигля. Тем самым может быть достигнуто продление срока службы тигля за счёт своевременного ремонта и предотвращение аварийных ситуаций.

### **Литература**

1. Долгих И. Ю. Разработка системы контроля состояния огнеупорной футеровки индукционной тигельной сталеплавильной печи / И. Ю. Долгих, М. Г. Марков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета (Вестник ИГЭУ). — 2019. — Вып. 5. — С. 58–66.

*А. В. Аренков, студ.;*  
*рук. Д. В. Иванов, д.т.н. (СПбПУ, Санкт-Петербург)*

## **ИНДУКЦИОННАЯ ЗАКАЛКА СТАЛЬНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ 60,3 ММ ДЛЯ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ**

Актуальность научно-технической работы объясняется тем, что в настоящее время российская нефтедобывающая отрасль находится в тяжелейшем положении. Старое оборудование давно выработало свой ресурс, а закупки иностранного ограничены санкционными запретами. Исходя из этого, в кратчайшие сроки необходимо разработать технологический процесс и наладить выпуск отечественного оборудования. Бурильные трубы, импорт которых около 70%, являются неотъемлемой частью всего нефтедобывающего дела.

В начале работы была поставлена задача: «Выполнить исследование и моделирование технологии индукционного нагрева стальных бурильных труб диаметром 60,3 мм».

Для получения исходных данных, был проведен аналитический расчет, с использованием учебного пособия [1]: получена оптимальная частота, которая удовлетворяет технико-экономическим показателям, произведен тепловой расчет нагрева, а также электрический расчет индуктора.

Следующим этапом является создание модели в COMSOL Multiphysics, выбор физики и построение сетки, отдельное внимание уделено построению сетки стальной трубы, и медного витка индуктора, выполнен с водным охлаждением. Плотность сетки настроена таким образом, чтобы достичь максимальную точность, при наименьшей длительности расчета. В программе, с помощью функции «Defoming Mesh» осуществлено движение заготовки сквозь индуктор и последующее охлаждение водным спреером. Результаты моделирование представляются в виде графиков, 3D моделей и Gif изображений.

Используя полученную модель и инструменты программы COMSOL можно изменять множество параметров процесса индукционного нагрева и получать данные не только для бурильных труб, диаметром 60,3 мм, но и для остального линейного ряда. Таким образом, это позволит в ближайшее время запустить отечественный промышленный комплекс индукционной закалки бурильных труб, и в дальнейшем поспособствует обновлению всей нефтедобывающей отрасли.

### **Литература**

1. **Иванов В. Н., Фролов В. Я., Иванов Д. В.** Индукционный нагрев металлов. Теория и практика: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. — 360 с.

*А. С. Булгаков, асп.; рук. М. Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО КОСВЕННОМУ ПАРАМЕТРУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЕЙ**

Для исследования тепловых и электрических процессов в современных вакуумных электротермических установках (ВЭТУ) и процессов в их системах управления используются как экспериментальные методы, так и методы математического моделирования. Экспериментальное исследование процессов в ВЭТУ во многих случаях неэффективно из-за значительной инерционности таких установок, энергоёмкости исследований, невозможности прямого измерения ряда параметров. Поэтому при исследовании ВЭТУ и их систем управления весьма часто используются методы математического моделирования, в том числе структурное моделирование [1].

Разработана структурная математическая модель температурного режима вакуумной электропечи сопротивления с регулированием температуры по косвенному параметру сопротивления нагревателей с учетом старения нагревателей. Нагреватели, выполненные из вольфрама или других тугоплавких металлов, имеют характерную особенность: электрическое сопротивление нагревателя при рабочей температуре и в холодном состоянии различается в 10–15 раз, что позволяет использовать сопротивление как косвенный параметр для регулирования температуры. При этом необходимо учитывать поправку на изменение площади поверхности нагревателя и его сечения вследствие уноса материала в вакууме, что влияет на измеряемую величину активного сопротивления и условия теплообмена в печи. Разработанная структурная модель учитывает эти факторы.

При моделировании считается, что печь, в тепловом отношении, работает в непрерывном режиме; остаточное давление в рабочем пространстве печи не изменяется со временем; поверхность нагревательных элементов не имеет повреждений; на износ нагревателей не влияет газовыделение материала нагреваемого изделия. При анализе результатов моделирования необходимо учитывать, что на практике окончанием срока службы нагревателя следует считать момент, когда его сопротивление увеличилось (в связи с уменьшением сечения нагревателя) на 20–30% по сравнению с исходным значением, поскольку при дальнейшем росте сопротивления запаса по напряжению источника питания будет недостаточно для компенсации этого роста.

### **Литература**

1. **Минеев А. Р., Коробов А. И., Погребисский М. Я.** Моделирование электротехнологических процессов и установок. М.: «Компания Спутник +», 2004.



Е. С. Булгакова, асп.; рук. А. Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕГО ОХЛАЖДЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИНДУКТОРОВ

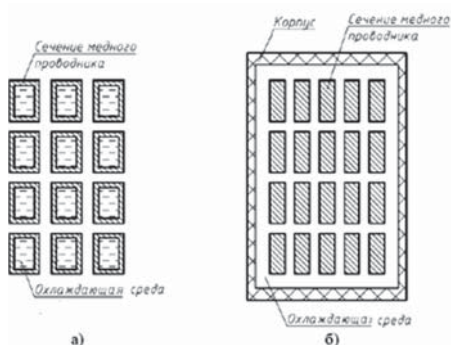


Рис. 1. Виды охлаждения обмоток индуктора  
а) трубчатое сечение; б) сплошное сечение

[1]. Использование МНИ сплошного сечения с внешним охлаждением, помещенных в корпус из непроводящего материала (рис. 1, б), позволяет увеличить число слоев при относительно небольшой толщине индуктора, что приводит к повышению энергетических характеристик системы индуктор — нагрузка [2].

Конструкция МНИ предусматривает наличие зазоров между слоями (вар.1), при этом возможны варианты различного выполнения индукторов, например, когда электроизолированные слои прижаты друг к другу и охлаждающая жидкость омывает только крайние слои и торцы (вар.2). В этом случае радиальная толщина МНИ уменьшается, но условия охлаждения внутренних слоев ухудшаются, и температура их возрастает. Исследования проводились с использованием пакетов *Comsol* и *ELCUT* для МНИ с параметрами: высота и внутренний диаметр — 600 мм и 230 мм, число слоев — 6, число секций по высоте индуктора — 18, высота секции — 30 мм, толщина проводящего слоя — 6 мм, толщина электроизоляции — 1 мм. Решалась задача по определению максимальной температуры слоев для разных вариантов конструктивного выполнения МНИ и значений тока индуктора. Получены следующие результаты: при токе индуктора 3000 А для варианта охлаждения 1 —  $t_{\max} = 50^\circ\text{C}$  и для варианта 2 —  $t_{\max} = 300^\circ\text{C}$ . Соответственно из-за повышения температуры индуктора несколько ухудшается электрический КПД.

Проведенные расчеты позволили определить область возможного и целесообразного применения многослойных индукторов с внешним охлаждением.

### Литература

1. **Chaykina I.** Overview of multilayer inductors / International Conference on Heating by Electromagnetic Sources. Padua, May 22–24, 2019. (Сборник докладов)
2. **Федин М. А., Кувалдин А. Б., Герасименко Е. С.** Исследование влияния многослойности индуктора на энергетические характеристики системы «индуктор-нагрузка» / В сборнике: Фёдоровские чтения — 2018 / под общ. ред. Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной, 2018. С. 100–104.

*Ю. М. Павлова, асп.; рук. А. Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ОБЫЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ И CONSTEEL**

Преимущества плавки стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) обычной конструкции Consteel по сравнению с обычными электропечами аналогичной мощности и вместимости (120 тонн) следующие: нагрев шихты на конвейере отходящими газами; непрерывная загрузка лома конвейером и уменьшение времени безтоковых пауз; снижение тепловых потерь при исключении открытия свода для завалки шихты; горение дуг на жидкометаллическую ванну и стабильный электрический режим, отсутствие обвалов шихты, коротких замыканий и обрывов дуг.

Однако, за период эксплуатации ДСП-120 Consteel на Ашинском металлургическом заводе выявили ряд следующих недостатков в конструкции печи [1]: не обеспечивается заявленная изготовителем температура 300°C нагрева лома на конвейере, в действительности температура лома на конвейере составляет 150–200°C; в зимнее время неиспарившаяся влага вместе с шихтой поступает в ванну, что приводит к хлопкам и взрывам; при простоях печи в зимнее время конвейер во избежание стопорения приходится освобождать от шихты; на футеровке откосов образуется полуспекшаяся шихта, которая срывается в ванну и вызывает вскипание последней с выбросом шлака и пламени; расход электроэнергии на 6–9% больше, по сравнению с ДСП-120 аналогичной мощности и вместимости. Повышенный расход электроэнергии в ДСП конструкции Consteel по сравнению с ДСП обычной конструкции изучен и был опубликован авторами ранее [2].

### **Литература**

1. **Шакиров З. Х., Шумаков А. М., Урюпин Г. П., Зинуров И. Ю., Запольских А. А.** Особенности технологии выплавки стали в электропечи ДСП-120 Consteel и пути её совершенствования // *Электрометаллургия*. 2013. № 9.
2. **Павлова Ю. М., Окунева В. В., Макаров А. Н.** Сравнительный анализ расхода электроэнергии в печах обычной конструкции и Consteel // *Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXVI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов*, М.: НИУ МЭИ, 2020.

**Секция 27**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ**  
**Electric vehicles**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., с.н.с. Глушенков Владимир Александрович*

*Секретарь секции: Саможей Ольга Станиславовна*

*С. А. Старовойтов, асп.; рук. В. А. Глушенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ**

Предпосылкой исследования является сформулированная в [1] необходимость полностью исключить из эксплуатационного парка локомотивы с истекшим нормативным сроком службы за счет разработки и постановки на производство тягового подвижного состава (ТПС) нового поколения. Вектор научного исследования гармонизирован с рядом приоритетных направлений в области разработки и внедрения энергетически эффективного ТПС, определенных в стратегии [2].

Описаны основные типы применяемых тяговых электродвигателей (ТЭД) для нужд локомотивного комплекса в РФ. Проанализирован передовой международный опыт железнодорожного машиностроения в области использования различных типов ТЭД.

На базе исследований [3,4] отражена тенденция к применению в системах привода железнодорожного ТПС и прочего электрического транспорта ТЭД переменного тока в основном из-за облегчения конструкции, снижения затрат на технические обслуживания и ремонты, не взирая на повышение стоимости производства. В качестве альтернативного решения на электровозах отечественного производства, оборудованных асинхронными ТЭД (АД), предлагается использование синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ).

На основе описания основных составляющих потерь мощности в АД и СДПМ, при условии использования статоров аналогичной конструкции, подтверждено положительное влияние на общее КПД электровоза. Применение СДПМ в качестве ТЭД также дает возможность в дальнейшем реализовать безредукторный привод электровоза, что в свою очередь позволит дополнительно увеличить КПД.

В нынешних реалиях развития локомотивного комплекса тенденция к применению передовых технологий в области электропривода железнодорожной техники становится наиболее актуальной.

### **Литература**

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года
2. Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» на перспективу до 2030 года
3. **Steimel A.** Electric Traction-Motive Power and Energy Supply; Oldenbourg Industrieverlag GmbH: Munich, Germany, 2008.
4. **Koseki T.** Technical Trends of Railway Traction in the World. In Proceedings of the Power Electronics Conference (IPEC 2010), Sapporo, Japan, 21–24 June 2010; pp. 2836–2841.

*Чжо Зин Хтай асп.; рук-ли В. А. Глушенков, к.т.н., с.н.с.;  
В. Г. Комаров к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛТРО» В НЕЙПЬИДО РЕСПУБЛИКИ МЬЯНМА**

Высокая энергоэффективность мультифункциональной магнитолевитационной транспортной системы «ЭЛТРО» позволяет в условиях Республики Мьянма использовать в качестве основного энергоисточника системы солнечную энергию. Для решения этой сложной научно-технической задачи используется соответствующее программное обеспечение поддержки этапов жизненного цикла системы. Такая поддержка и компьютерное сопровождение получили название CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support).

Главная задача использования CALS-технологий при создании и реализации инновационной системы «ЭЛТРО» — обеспечение единообразных описаний и смысловой интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных.

Реализация идеологии CALS для энергообеспечения системы «ЭЛТРО» от солнечной энергии осуществляется при помощи создания единых информационных моделей в специальной однородной компьютерной среде, которая организуется в форме виртуальной корпорации, предназначенной для организации информационной поддержки процессов жизненного цикла системы. Для научного этапа работ продукцией является комплект адекватных практически проверенных компьютерных или натуральных моделей, позволяющих реализовать оптимизацию системы по заданным критериям в условиях её конкретного использования.

Однородность компьютерной среды обеспечивается использованием программных продуктов с открытыми исходными кодами, связанными в единую информационную систему с помощью языка Python. Такая компьютерная среда позволяет отразить все аспекты жизненного цикла, начиная от формулировки требований к будущему изделию и заканчивая учебным процессом по подготовке квалифицированных кадров и юридическим сопровождением совместно используемой информации.

Мы считаем, что это лучший выбор технологии для создаваемой инновационной транспортной системы.

*И. Ю. Мартынюк,  
асп.; рук. В. А. Пречисский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТАТОЧНОСТИ РЕСУРСА ИНТЕНСИВНО ИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОВЗОВ**

В соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года» предусмотрено решение общекорпоративных задач, таких как получение необходимых финансовых ресурсов для решения задач, поставленных акционером, путем повышения финансово-экономической эффективности.

В соответствии с утвержденной программой и методикой контрольных испытаний, в рамках исследований, проводится экспериментальное определение и последующая оценка соответствия нормативным требованиям потока отказов электровозов 2ЭС4К (Северо-Кавказская ж.д.) и 3ЭС5К (Восточно-Сибирская ж.д.) в условиях подконтрольной эксплуатации опытной партии локомотивов с увеличенной до 120-ти часов периодичностью проведения технического обслуживания ТО-2.

В рамках исследований проводится общая оценка достаточности ресурса интенсивно изнашиваемых деталей электровозов (тормозные колодки и угольные вставки полозов токоприёмников), а также разовой заправки смазкой кожухов зубчатых передач (далее КЗП) колесно-моторных блоков и разового пополнения электролитом аккумуляторных батарей.

На исследовательской стадии методом измерения физических величин определяются следующие параметры:

- высота уровня смазки в рабочей камере буксы МОП;
- вес смазки, отобранный из буксы МОП в специальную тару;
- график изменения уровня смазки в рабочей камере МОП от количества израсходованной смазки;
- высота уровня смазки КЗП;
- высота уровня электролита в банках АБ;
- толщина тела тормозной колодки;
- высота угольных вставок токоприемника.

На основе результатов измерений (взвешивания) выполняются оценки достаточности для обеспечения безотказной работы при увеличенной до 120-ти часов периодичности проведения технического обслуживания.

### **Литература**

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года
2. Программа и методика подконтрольной эксплуатации ПКБ ЦТ. 06.0138.

*Аунг Со Мо, асп.; рук-ли В. А. Глушенков, к.т.н., с.н.с.;  
В. Г. Комаров, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛТРО»**

Энергоэффективность магнитолевитационной системы определяется следующими составляющими:

- сопротивлением движению подвижного состава;
- затратами энергии на создание левитационного зазора;
- КПД силового агрегата по созданию тяговых сил;
- сбережением энергии в процессе торможения подвижного состава.

Для анализа этих процессов необходимо создание динамических моделей электромагнитного поля, привязанных к конструкции устройств магнитной левитации. С этой целью используется пакет программ FEMM, связанный с помощью языка Python с системой 3-D моделирования FreeCAD. По результатам в конструкции при движении подвижного состава производится переход к интегральной оценке удельного электромагнитного сопротивления движению и аналитической формуле. Направивается использование постоянных магнитов (ПМ) для левитации без затрат энергии. Основным вариантом принята комбинированная система магнитной левитации с использованием постоянных магнитов для статического подвеса и электромагнитов для динамической компенсации.

Комбинированные тягово-левитационные модули состоят из шихтованных сердечников, высокоэффективных ПМ и управляющих электрических обмоток без необходимости низкотемпературного жидкостного охлаждения. Магнитный поток, обусловленный ПМ, который связывается с ферромагнитным модулем через шихтованные стальные сердечники и воздушные зазоры, создает силу притяжения между комбинированным магнитным полюсом и статором. Эта сила притяжения обратно пропорциональна квадрату длины воздушного зазора. В обычной системе электромагнитной левитации для поддержания сбалансированной левитации подъёмный электромагнит необходимо постоянно возбуждать, и, соответственно, постоянно потреблять большое количество электрической энергии. В модулях электромагнит может быть резко уменьшен с помощью метода управления левитацией с минимальной мощностью, потому что управляемый модуль использует электроэнергию только в динамическом режиме. Мгновенная обратная ЭДС зависит от скорости транспортного средства и длины секции статора.

*А. Э. Лаврова, студ.; О. С. Саможей, асп.,  
рук. В. Е. Осипов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМАТИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ**

В настоящее время вследствие растущей концентрации населения в городах и высокого уровня загрязнения окружающей среды вредными выбросами, необходимо использовать перспективный общественный транспорт для снижения экологического воздействия — электробус.

Электробус обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с автобусом, оборудованным двигателем внутреннего сгорания, работающим на бензине, дизельном топливе или газе. Он обеспечивает комфортное перемещение с минимальным уровнем шума, а также при массовом применении снижает уровень загрязненности воздуха в городе.

На сегодняшний день идет активное применение электробусов. Одним из важнейших направлений в их развитии является увеличение запаса хода без дозаправки на стационарной заправочной станции.

Основная проблема внедрения электробусов — отсутствие надежной зарядной инфраструктуры. Зарядная инфраструктура для электротранспорта занимает гораздо меньше места, чем топливозаправочные системы, а также обеспечивает более высокий уровень безопасности и практически не оказывает влияния на окружающую среду. Немало важно, что при создании инфраструктуры должны закладываться решения с техническими параметрами, позволяющими заряжать как существующий, так и перспективный электротранспорт.

Зарядная структура должна обеспечивать требуемые параметры по мощности и зарядному напряжению, необходимому электротранспорту, иметь возможность увеличения мощности оборудования и числа параллельно заряжаемых транспортных средств. Кроме того система должна быть безопасной и иметь надежную систему мониторинга.

### **Литература**

1. **О. Н. Иванов, Н. О. Листов, А. В. Остроух.** Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований. — 2017. — № 4–2. — Т. 7. — С. 29–48.
2. **Н. Л. Загайнов, Б. С. Финкельштейн.** Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978, 336 с.



*А. Э. Лаврова, студ.; рук. О. С. Саможей, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОБУСОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ОТ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Активное применение электробусов в современной городской инфраструктуре г. Москвы привело к увеличению числа зарядных станций. Для компенсации ограничений запаса хода электрических транспортных средств необходимо иметь доступную и надежную зарядную инфраструктуру — плотную сеть зарядных станций с возможностью замены батарей. Этому будет способствовать сеть тяговых подстанций (Далее ТП), созданных для организации троллейбусного и трамвайного движения.

Учитывая значительные зарядные токи электробусов, необходимо реализовать достаточную мощность зарядной сети, чтобы обеспечить функционал ультрабыстрого заряда электробусов по пути их следования. Использование существующих мощностей тяговых подстанций может быть особенно актуально ввиду закрытия маршрутов троллейбусов и высвобождения мощностей.

При организации системы электроснабжения зарядных станций посредством тяговых подстанций мы получаем большое количество положительных аспектов, таких как: использование существующих мощностей и оборудования тяговых подстанций, позволяющих снизить эксплуатационные затраты, высокую скорость внедрения новых зарядных станций, каждая ТП может иметь от 5 до 12 точек заряда, а также возможность вернуть систему к исходному виду для восстановления трамвайного и троллейбусного сообщения.

### **Литература**

1. **О. Н. Иванов, Н. О. Листов, А. В. Остроух.** Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // *Международный журнал перспективных исследований.* — 2017. — № 4–2. — Т. 7. — С. 29–48.
2. **Н. Л. Загайнов, Б. С. Финкельштейн.** Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978, 336 с.

*А. М. Сбитнева, студ; рук. В. Е. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ МОСКВЫ ЗАМЕНЫ ТРОЛЛЕЙБУСОВ НА ЭЛЕКТРОБУСЫ**

С каждым годом все больше электробусов появляется на улицах столицы. Этот экологичный транспорт приходит на смену троллейбусам. В настоящее время в Москве полностью прекращено движение троллейбусов.

Аргументов для перехода на гибридный транспорт достаточно:

- зависимость электроснабжения троллейбуса от существующих линий электропередач;
- изношенность сетей электропередачи, из-за которой эксплуатация парка троллейбусов в Москве составляла около 30% потерь общегородской электроэнергии;
- высокая аварийность из-за износа кабин троллейбусов;
- в Москве широко развита троллейбусная сеть, которая портит внешний вид города;

В свою очередь, троллейбусы имеют ряд преимуществ перед электробусами. Во-первых, в связи с климатическими условиями большей части нашей страны салоны общественного транспорта необходимо обогревать, для чего в электробусах необходимо устанавливать системы обогрева на жидком или газовом топливе, которые выбрасывают загрязняющие вещества в атмосферу. Во-вторых, у троллейбуса выше конструктивная послеварийная безопасность, так как в нем отсутствует топливо и аккумуляторные батареи.

Именно поэтому замена троллейбусов на электробусы со стационарной подзарядкой вызывает некоторые сомнения. Гораздо более рационально было бы постепенно использовать существующую троллейбусную инфраструктуру для электробусов с динамической подзарядкой.

*А. А. Ефимова, студ.; О. С. Саможей, асп.;  
рук. В. Е. Осипов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ПАРКОВОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОБУСОВ**

Зарядные станции — это элемент инфраструктуры города, который предоставляет электроэнергию для зарядки аккумуляторного электротранспорта, такого как электробусы и электромобили. Они могут получать питание как от источников переменного, так и от источников постоянного тока. Использование переменного тока является финансово невыгодным, поэтому чаще всего используется питания посредством постоянного тока от тяговых подстанций.

В настоящее время существует потребность в оборудовании электробусных парков зарядными системами ультрабыстрого и медленного заряда, которые должны соответствовать стандартам безопасности, требованиям эксплуатирующей организации, полной совместимостью с электробусами разных производителей. Кроме того, основная задача заключается в том, чтобы определить необходимые мощности для обеспечения потребностей электробусного парка, а также грамотно распределить мощности между зарядными терминалами.

Основной целью проектирования является разработка современной парковой зарядной станции, которая при помощи анализа каждого агрегата способна распределять и перераспределять мощность между несколькими электробусами. С помощью данного комбинированного типа зарядных станций мощность, которая потребуется электробусному парку снизится в несколько раз.

Благодаря анализу данных от всех терминалов в парке, система сможет реализовывать различные сценарии заряда, такие как: приоритетный заряд на выделенных терминалах, последовательный заряд нескольких электробусов для распределения и снижения потребляемой мощности, появляется возможность приостановки зарядных сессий соседних терминалов с их последующим восстановления.

### **Литература**

1. **О. Н. Иванов, Н. О. Листов, А. В. Остроух.** Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований. — 2017. — № 4–2. — Т. 7. — С. 29–48.

*В. Р. Жандаров, студ.; О. С. Саможей, асп.;  
рук. В. С. Гарбузюк (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Распределительная сеть предназначена для передачи электрической энергии от шин низкого напряжения понизительных подстанций (110–220 кВ) к вводным распределительным устройствам (ВРУ) понизительных подстанций (ПП) и тягово-понижительных подстанций (ТПП) метрополитена. Основным напряжением ВРУ является напряжение 10 кВ, однако новые станции Большой кольцевой линии (БКЛ) рассчитаны на напряжение 20 кВ.

Целью работы является выбор номинального напряжения распределительной сети и технико-экономическое сравнение вариантов сети 10 кВ и сети 20 кВ, а по результатам сделаны следующие выводы:

- потери (падение) напряжения и потери мощности при одинаковой мощности и сечении линии будут зависеть от напряжения сети;
- при равных параметрах потери напряжения обратно пропорциональны напряжению сети, а потери мощности обратно пропорциональны квадрату напряжения. Но при одной и той же мощности, кабели большего напряжения имеют меньшее сечение, но допустимый ток у кабелей 20 кВ меньше кабелей 10 кВ на 30–35%, поэтому фактическое значение отношения потерь как напряжения, так и мощности будет около 2;
- допустимый ток у кабелей 20 кВ меньше кабелей 10 кВ на 30–35% из-за освинцованной оболочки, соответственно пропускная способность выше примерно в 1,5 раза;
- вследствие уменьшения потерь напряжения, при переходе с 10 кВ на 20 кВ, расстояние электропередачи увеличивается;
- с увеличением класса напряжения, стоимость оборудования увеличивается за счёт дорогостоящей изоляции, поэтому кабели 20 кВ стоят в 1,8–2,5 раза дороже чем кабели 10 кВ.

Выбор номинального напряжения является важной задачей в проектировании новых станций, так как постоянное расширение метрополитена, приводит к увеличению расстояния передачи электроэнергии до подстанции, а также к увеличению передаваемой мощности. В связи с этим стоит выбор между исторически сложившимся напряжением 10 кВ и перспективным напряжением 20 кВ.

**Направление V**

**ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Technosphere safety**

---

**Руководитель направления:**

д.т.н., доцент Кондратьева Ольга Евгеньевна —  
заведующий кафедрой инженерной экологии  
и охраны труда НИУ «МЭИ»

**Секция 28**  
**ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**Technosphere safety**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Кондратьева Ольга Евгеньевна*

*Секретарь секции: Локтионов Олег Александрович*

*А. В. Поляков, студ.; рук. А. М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

Основой экономики всех развитых стран мира является энергетическая отрасль. Одной из главных и значимых задачей является бесперебойное электроснабжение потребителей. Под бесперебойным электроснабжением понимается надежность электроснабжения, то есть способность в любой момент времени обеспечить потребителей электроэнергией в требуемом объеме и заданного качества. Согласно статистическим данным для Центральной России на 2015 год протяженность КЛ составляла 17,2 тыс. км, в то время как в 2019 году — 20,7 тыс. км [1]. Это связано с тем, что все больше и больше происходит расширение новых территорий, а в следствие этого строительство домов и предприятий. Поэтому проблеме бесперебойного электроснабжения должно быть уделено внимание.

Причинами отказов кабельных линий являются: предшествующие механические повреждения (48%), непосредственные механические повреждения строительными организациями (16%), дефекты в муфтах при монтаже (10%), осадки грунта (8%), коррозия металлических оболочек кабеля (4%), дефекты изготовления кабеля (4%), нарушения при прокладке кабеля (5%), старения изоляции (4%), иные причины (1%) [2].

Можно заметить, что более 60% всех причин происходят из-за механических повреждений кабельных линий. Механические повреждения делятся на прямые, которые приводят к одновременному отказу кабельных линий, и предшествующие, при которых развитие дефекта кабеля до его повреждения происходит в течение времени и которые выявляются при испытаниях, а также могут вызывать отказы линий в рабочем режиме.

Таким образом, использование полученных сведений об отказах кабельных линий при должном надзоре за трассами ведет к снижению числа аварийных ситуаций и уменьшению ущерба от перерывов электроснабжения потребителей.

### **Литература**

1. ПАО «МРСК Центра» Производственный потенциал [Электронный ресурс] URL: <https://www.mrsk-1.ru/investors/indicators/production-potential/>.
2. Соколов С. Е., Сажин В. Н., Генбач Н. А. Электрические сети и системы: Учебное пособие. — АУЭС, 2010.

*М. С. Москвина, студ.; рук. М. С. Хвостова, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОТЕХНОПАРКОВ В РОССИИ**

В настоящее время российская экономика характеризуется моделью линейного типа: «ресурсы — производство — потребление — отходы». Для перевода ее на более высокий уровень развития необходимо сформировать отрасль промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов.

В работе предлагается решение проблемы обращения с ТКО путем создания экотехнопарков (ЭТП). Экотехнопарк — это объект или комплекс объектов, осуществляющих обработку, утилизацию и обезвреживание отходов, а также на их основе дальнейшее производство продукции, совмещающая в себе производственную и исследовательскую деятельность [1]. На сегодняшний день около 400 ЭТП успешно функционируют в Дании, Австрии, Финляндии, Великобритании, Китае, Швеции. В России запущена эксплуатация ЭТП «Буматика» [2]. Результаты функционирования объекта следующие: обезврежено 35%, утилизировано 31% и 34% размещено на полигоне от общего числа отходов за все время. На стадии строительства сейчас находятся ЭТП «Новокузнецк» и «Калуга».

Развитие концепции ЭТП рассматривается как толчок к переходу к экономике замкнутого цикла, что поможет минимизировать многочисленные риски, связанные с захоронением и перемещением отходов на полигонах. В связи с этим приведен алгоритм снижения экологических рисков при ЭТП.

Результаты проведенного в настоящей работе анализа позволили сформировать перечень рекомендаций по совершенствованию концепции развития ЭТП, которые были разделены на четыре основные группы: нормативно-правовая, организационно-логистическая, инженерно-техническая, образовательная.

Анализ зарубежного опыта строительства и эксплуатации ЭТП и оценка российского потенциала в этой области позволили сформировать в рамках данной работы научно-теоретические и инженерно-экологические основы развития ЭТП в России.

### **Литература**

1. **Распоряжение Правительства РФ** от 25.01.2018 N 84-р «Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года»
2. **Воротников А. М.** Экотехнопарки: перспективы развития, приоритетные области внедрения и особенности финансирования // Проблемы национальной стратегии. — 2019. — № 4. — С. 144-155.



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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ПЛОЩАДИ ЛЕГКОБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ЛСК)

Современная промышленность всё время совершенствуется и прогрессирует, поэтому промышленные объекты строятся и разрастаются, как в размерах, так и в численности рабочих. Вместе с этим растет необходимость обеспечения их устойчивости при взрыве или пожаре.

Было рассмотрено производственное помещение зерноперерабатывающего предприятия, относящееся к категории Б по взрывопожароопасности, в котором расположены два силоса для хранения пшеничной муки. В соответствии с п. 6.2.5 СП 4.13130.2013 [1], рассматриваемое помещение следует обустраивать наружными легкобрасываемыми ограждающими конструкциями. В соответствии с положениями СП 4.13130 площадь легкобрасываемых конструкций следует определять расчетом, а при отсутствии расчетных данных площадь конструкций должна составлять не менее  $0,03 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема помещения категории Б. Поэтому были проведены сравнительные расчеты разрушаемых видов ЛСК для взрывопожароопасного производственного помещения, которые представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты расчета необходимой площади ЛСК при одинарном остеклении и толщине стекла 3, 4, 5 мм

Объем помещения, $\text{м}^3$	Необходимая площадь открытого проема, $\text{м}^2$	Параметры ЛСК		
		Толщина стекла, мм	Площадь ЛСК при одинарном остеклении, $\text{м}^2$	Площадь ЛСК по п. 6.2.5 СП 4.13130 (без расчета)
3401,19	55,27	3	116,73	102,03
		4	118,36	-
		5	120,011	-

По результатам расчета можно сделать вывод, что ориентировочный расчет по СП 4.13130 дает заниженный результат и необходимую площадь ЛСК целесообразно определять расчетом, а упрощенную формулу следует применять только для ориентировочных расчетов при отсутствии необходимых исходных данных.

### Литература

1. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям».

*П. А. Носорев., А. И. Комин, студенты;  
рук. А. А. Завьялова, к.т.н., доц.,  
А. С. Козодаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТА НАПОРНОЙ ФЛОТАЦИИ ПУТЁМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ БЛОКА ДООЧИСТКИ**

Взвешенные вещества и нефтепродукты являются одними из самых распространенных загрязнителей сточных вод предприятий различных отраслей промышленности. В настоящее время для их удаления, как правило, используются технологические схемы, реализованные с использованием устройств, которые занимают большие площади и имеют высокую стоимость.

На сегодняшний день комбинирование различных методов очистки в одном устройстве представляет собой целый тренд. Одним из таких устройств является флотокомбайн. Флотокомбайн может включать в себя предварительный блок реагентной обработки, отстойник, флотатор и блок доочистки. Данный аппарат, не снижая своего полезного объёма, обеспечивает оптимальные гидродинамические условия, ламинарное движение потока воды, позволяет не использовать трубопроводы и фитинги для реализации нескольких видов процессов очистки в одном устройстве. К тому же, использование флотокомбайна позволяет снизить площадь, занимаемую очистными сооружениями, а также уменьшить капитальные затраты на строительство очистных сооружений за счёт использования меньшего количества материала по сравнению с отдельными аппаратами очистки [1].

При этом, во время эксплуатации флотокомбайнов наблюдается ряд явлений, требующих поиска путей повышения эффективности очистки. Одним из таких явлений является задержка части микрофлотокомплексов в очищаемой воде. Решением данной проблемы представляется коалесцирование флотокомплексов на микросетке из нержавеющей стали на этапе доочистки, сделанной из нержавеющей стали. Интегрирование коалесцентного фильтра во флотационный аппарат позволит предотвратить вынос загрязнений и микрофлотокомплексов и значительно повысить эффективность очистки [2].

### **Литература**

1. **Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Виноградов М. С., Петрова Е. В., Воропаева А. А.** Очистка производственных сточных вод с использованием флотокомбайнов // *Экология и промышленность России* — 2014 — № 7. — С. 12–15.
2. **Ксенофонтов Б. С.** Интенсификации процессов очистки воды флотацией. — Саарбрюкен: Лап Ламберт, 2012 г., 99 с.

*С. А. Сивцева, В. Д. Бурченко, студенты;  
рук. П. В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В РАЙОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭЦ МЭИ**

В настоящее время идет процесс реконструкции учебно-экспериментальной ТЭЦ МЭИ, в рамках которой будет установлен современный парогазовый блок мощностью 10 МВт. Поскольку ТЭЦ МЭИ расположена в районе плотной застройки жилых и учебных зданий, то для нее обязательно строгое выполнение установленных нормативов приземных концентраций загрязняющих веществ (далее — ЗВ), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами.

В этой связи целью настоящей работы являлись разработка системы непрерывного контроля и учета выбросов загрязняющих маркерных веществ и определение санитарно-защитной зоны (далее — СЗЗ).

Для этого в работе проведено предварительное обследование ТЭЦ МЭИ согласно опросному листу [1] с указанием технико-экономических характеристик энергетической установки. Кроме того осуществлен анализ существующих российских газоаналитических измерительных систем и их выбор для установки на ТЭЦ МЭИ с учетом рекомендаций [1].

Для ТЭЦ МЭИ расчетным путем определены массовые выбросы маркерных веществ в количестве до 3,0 г/с для  $\text{NO}_x$  и менее 1,0 г/с для СО. Расчеты их рассеивания из дымовых труб на прилегающих территориях с учетом реальной застройки по методике [2] показали, что приземные концентрации ЗВ не превышают ПДК. Наибольшие значения приземных концентраций ЗВ наблюдаются в радиусе 500–600 м от источника выброса — дымовой трубы. На основании полученных данных из расчета рассеивания выбросов ЗВ определены размеры СЗЗ ТЭЦ МЭИ.

Анализ расчетных результатов позволил оценить экологическую ситуацию в прилегающем к ТЭЦ МЭИ районе как удовлетворительную.

### **Литература**

1. ПНСТ 187-2017 Наилучшие доступные технологии. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200145266> (дата обращения 16.09.2020).
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 273 от 06.06.2017 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения 16.09.2019).

*М. А. Забелин, студ.; рук. М. С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ**

Развитие атомной энергетики, расширение спектра медицинских процедур с применением источников ионизирующего излучения, применение для строительства природных и техногенных материалов, обладающих радиоактивностью и токсичностью — все это создает определенные радиационные риски для населения. Последствиями воздействия радиационного фона на человека в области малых доз (до 0,1 Зв), в соответствии с гипотезой «Доза–Эффект», являются злокачественные новообразования и наследственные эффекты, которые имеют стохастический характер проявления [1].

В соответствии с концепцией оценки радиационного риска предполагается, что риски от дополнительного антропогенного радиационного воздействия на население и отдельных членов общества не должны являться существенными по сравнению с суммарным риском, которому человек подвергается в процессе его жизнедеятельности. В связи с этим необходимо проведение оценки радиационных рисков для населения от различных источников ионизирующего облучения, что требует различных подходов и разработки методологий [2].

В работе изложены основные подходы к оценке радиационных рисков, учтены различные показатели, а так же тот факт, что от источника облучения зависит и метод оценки риска. Проведены анализ и сравнение различных видов радиационного риска для населения, проживающего в зоне воздействия ФГУП «ГХК». Оценены радиационные риски от медицинских процедур, радоновой опасности, произведен расчет риска на основе данных радиационного мониторинга. Предложена оптимальная схема анализа радиационных рисков для населения и описаны ее основные этапы, что в перспективе позволит быстрее проводить оценку вероятности возникновения негативных последствий от воздействия ионизирующего излучения от различных источников.

### **Литература**

1. **В. С. Репин** «Развитие методологии оценки радиационного риска в системе социально-гигиенического мониторинга» [Электронный ресурс] URL: <http://elib.sfu-kras.ru> (дата обращения: 3.11.2020)
2. **Э.Э. Почин** «Важность оценки радиационного риска» [Электронный ресурс] URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files//21405894047\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files//21405894047_ru.pdf) (дата обращения: 3.11.2020)

*В. Д. Бурченко, С. А. Сивцева, студенты;  
рук. П. В. Росляков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА УГОЛЬНОЙ ТЭС**

Предприятия теплоэнергетики традиционно оказывают заметное негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). В этой связи актуальной является проблема организации контроля за соблюдением ТЭС технологических показателей выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) с дымовыми газами в атмосферный воздух. Для этого на предприятиях I категории в соответствии с действующим российским природоохранным законодательством внедряются современные системы непрерывного инструментального контроля и учета выбросов (СНКиУВ) [1].

Целью данной работы являлась разработка СНКиУВ для установки на дымовой трубе угольной Благовещенской ТЭЦ. Преимущество такого подхода заключается в контроле суммарных массовых выбросов ЗВ от всех котлов, подключенных к данной дымовой трубе, что существенно снижает затраты на внедрение СНКиУВ.

В работе для организации непрерывного контроля выбросов маркерных ЗВ на дымовой трубе были предложены и выбраны из представленных на российском рынке беспробоотборные газоаналитические системы, способные надежно функционировать на высоте более 100 метров при температурах от -40 до +40°C. Такие системы контроля, реализованные на базе современных средств измерений, должны в реальном масштабе времени фиксировать значения концентраций маркерных загрязняющих веществ в дымовых газах ТЭС.

С учетом конкретных характеристик сжигаемого угля определены диапазоны изменения концентраций ЗВ и расходы дымовых газов.

В результате работы было выбрано газоаналитическое оборудование, а также определены структура и состав информационно-измерительного программного обеспечения.

### **Литература**

1. **Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ** «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс] / URL: <http://base.garant.ru/70700466/>
2. **ПНСТ 187-2017** «Наилучшие доступные технологии. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух» [Электронный ресурс] / URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200145266/>

*А. А. Сибгатуллина, студ.;*  
*рук. П. В. Росляков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ И РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА РОССИЙСКИХ УГОЛЬНЫХ ТЭС**

Теплоэнергетика является одной из отраслей промышленности с наибольшим негативным воздействием на окружающую среду (НВОС). С целью снижения выбросов маркерных загрязняющих веществ в атмосферу на российских угольных ТЭС в настоящее время внедряются наилучшие доступные и перспективные технологии золоудаления, рекомендованные в [1].

Наиболее эффективными в очистке дымовых газов от твердых частиц (зола топлива) считаются электрофильтры (ЭФ) и рукавные фильтры (РФ). Степень очистки газов для тонко дисперсных частиц размером менее 10 мкм достигает 99–99,9% у ЭФ и 98–99,99+% у РФ, однако эксплуатационные затраты для РФ значительно больше [2]. Поэтому при практическом внедрении этих современных золоуловителей возникает необходимость в проведении предварительных технико-экономических расчетов применения этих технологий пылеочистки газов для конкретных условий работы ТЭС.

В этой связи целью данной работы являлась разработка алгоритма оптимального выбора способа золоулавливания, основанного на сравнении технических и экономических параметров электрофильтров и рукавных фильтров с учетом таких характеристик золы как: химический состав, плотность частиц, слипаемость, гигроскопичность и др. [2].

В результате проведенного анализа для выполнения нормативов выбросов летучей золы, приведенных в ИТС 38-2017, ГОСТ Р 50831-95 и Директиве 2010/75/ЕС, были разработаны рекомендации по выбору золоуловителей для различных ТЭС, использующих разные виды российских углей.

### **Литература**

1. **ИТС 38-2017** (ИТС НДТ КТЭУ) «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии», Бюро НДТ [Электронный ресурс]: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872).
2. **Росляков П. В.** Золоуловители ТЭС: учеб. пособие — М: Издательство МЭИ, 2018. — 80 с.

*О. С. Щербачева асп., рук. И. В. Королев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЛИНИИ НА ЕМКОСТНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Статистика электротравматизма в области наведенного напряжения указывает на то, что проблема безопасности при проведении работ под наведенным напряжением (НН) остается актуальной. НН — напряжение на отключенных проводах линии, появляющееся в результате воздействия электромагнитного поля рабочей линии, складывается из электромагнитной и электростатической составляющей.

Обновленная редакция Правил по охране труда (ПОТЭЭ) [1], принятая в 2016 году, устанавливает два основных метода проведения работ под НН: 1) с заземлением ВЛ с обеих сторон в РУ и на рабочем месте с использованием для обеспечения безопасного производства работ технологии уравнивания потенциалов или технологии работ «без снятия напряжения»; 2) без заземления ВЛ в РУ при заземлении ВЛ только на рабочем месте». При заземлении отключенной линии на рабочем месте электромагнитной составляющей НН можно пренебречь. В этом случае, в месте заземления, с отключенной линии стекают емкостные токи.

Расчеты, проведенные в работе, показали, что при появлении несимметрии напряжения на рабочей линии, не превышающей 4%, согласно ГОСТ 32144-2013 [2], величина наведенного напряжения увеличивается на 46–50%, относительно симметричного режима работы влияющей рабочей линии (для отключенной и влияющей линии, расположенной на двухцепной опоре классом напряжения 110, 220, 330 кВ, при заземлении отключенных проводов (всех трех фаз) на опору, в одной точке — в месте проведения работ).

Недостовверная оценка значений наведенных напряжений, без учета такого показателя качества электроэнергии, как несимметрия напряжения, может привести к неправильному выбору методов и мероприятий при работах на отключенной линии под наведенным напряжением и, соответственно, к повышению опасности проведения работ.

### **Литература**

1. **Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок**, утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 328н от 24.07.2013 года (с изменениями, внесенными приказом Минтрула России от 19.02.2016 года № 74)
2. **ГОСТ 32144-2013** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

*П. В. Филиппов, студ.; рук. А. А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

Электрофлотация — метод очистки сточных вод от нерастворимых веществ, основанный на проведении электролиза воды на электродах. Данный метод позволяет проводить очистку сложных по составу сточных вод [1]. Однако электрофлотация обладает существенным недостатком, таким как пассивация электродов. После продолжительной работы из-за возникающей пассивации существенно снижается эффективность очистки, в связи с чем необходима либо остановка работы аппарата для очистки электродов, либо их замена. Интенсификация электрофлотационного процесса заключается в разработке метода снижения пассивации и увеличения срока службы электродов, без вывода аппарата из работы.

В данный момент существуют несколько способов физической и химической очистки электродов. Физические методы: применение механических скребков и щеток, ультразвуковая очистка электродов, механическая вибрация, наложение однородного переменного тока различной частоты, засыпка магнитных материалов в межэлектродное пространство, применение импульсного и асимметрического электрического тока, использование вращающихся электродов. К химическим методам относятся: введение в обрабатываемый поток активирующих добавок, таких как хлорида натрия, или инжектирование в стоки растворы соляной, либо серной кислоты [2].

В работе был проведен анализ и сравнение каждого из представленных выше методов. Учтены различные показатели, а также тот факт, что в зависимости от применения метода может нарушаться процесс флотации и падать эффективность очистки стоков. Был предложен оптимальный метод интенсификации электрофлотационного процесса, позволяющий снизить пассивацию электродов без вывода аппарата очистки из работы и без нарушения процесса флотации. Данный метод позволит поддерживать эффективность очистки электрофлотатора на необходимом уровне до полного растворения электродов, что в перспективе позволит расширить применение электрофлотации.

### **Литература**

1. **Сидорова Л. П.** Методы очистки промышленных и сточных вод часть II. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО УрФУ, 2015
2. **Жилинский В. В.** Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка. Минск: БГТУ, 2013



*И. А. Кузнецова, студ.; рук. А. М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ ЧЕК-ЛИСТОВ ПО ОХРАНЕ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ НИУ «МЭИ»)**

Основной целью управления охраной труда является организация работы по обеспечению безопасности, снижению травматизма и аварийности, профессиональных заболеваний, улучшению условий труда на основе решения комплекса задач по созданию безопасных и безвредных условий труда, лечебно-профилактическому и санитарно-бытовому обслуживанию работающих [1]. После создания системы управления охраной труда необходимо осуществлять внутренний аудит, который поможет контролировать состояние условий труда. Структура НИУ «МЭИ» включает большое количество обособленных подразделений, и важно учитывать особенности каждого. Поэтому внутренний аудит целесообразно проводить с использованием специально разработанных чек-листов, учитывающих специфику отдельных подразделений. Чек-листы по охране труда — это набор вопросов, контролирующий исполнение требований законодательства. Чек-листы представляют собой таблицы из следующих столбцов: вопрос, ссылка на нормативный акт, ответ. Каждый чек-лист соответствует определенной тематике.

В работе были разработаны чек-листы для внутреннего аудита НИУ «МЭИ» на основе существующих чек-листов Государственной инспекции труда [2] с учетом специфики НИУ «МЭИ» как образовательной организации. При этом проверочные листы включают в себя разный набор контрольных вопросов в зависимости от типа подразделения, для которого они предназначены. Вопросы составлены таким образом, чтобы возможно было дать однозначный ответ соблюдается или не соблюдается требование законодательства. Если отдел охраны труда и техники безопасности будет регулярно проводить внутренний аудит с помощью чек-листов, анализировать результаты и исправлять нарушения, то это поможет улучшить состояние условий труда на предприятии, а также позволит подготовиться к внешним проверкам в сфере охраны труда.

### **Литература**

1. **Девисилов В. А.** Охрана труда / В. А. Девисилов. — Москва: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2013. — 357–390 с.
2. **Приказ Роструда** от 10.11.2017 N 655 (ред. от 03.08.2020) «Об утверждении форм проверочных листов) для осуществления федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права»

*Н. М. Шабалин, студент;  
рук. В. Т. Медведев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН, ПРОНИКАЮЩИХ В ПОМЕЩЕНИЕ НА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

В соответствии с Государственным докладом Минприроды России «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году», на сегодняшний день из всех физических факторов, увеличивающих уровни риска здоровью населения, ведущее место занимает шумовой физический фактор [1]. Отмечается непрерывное повышение шумового фона селитебных территорий, что является серьёзной проблемой [2].

Многообразие источников шумового загрязнения селитебной территории требует углубленного подхода к решению задачи по обеспечению требуемых акустических условий. Необходимо учитывать влияние внешних источников шума на формирование акустического поля внутри зданий и сооружений. Спектры излучаемого этими источниками шума, имеют широкополосный характер с наличием низкочастотных составляющих, обладающих высокой проникающей способностью и способностью распространения на большие расстояния. Такое шумовое загрязнение может проявляться в негативном воздействии на организм человека.

В данной работе была определена важность обеспечения комфортных акустических условий в селитебных территориях с точки зрения воздействия шума на здоровье населения. В соответствии с СП 51.13330.2011 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 была приведена классификация и были выявлены основные источники шумового загрязнения в городах.

В результате проведённого анализа было выявлено, что воздействие шума негативно сказывается на здоровье человека и выражается в нарушениях регуляции центральной нервной системы, а также в деструктивных процессах в различных органах и тканях. Было выявлено, что основными источниками низкочастотного шумового загрязнения в селитебных территориях являются автомобильный и рельсовый транспорт.

### **Литература**

1. **Государственный доклад** «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» / М.: Минприроды России; НПП «Кадастр» — 2019. — 844 с.
2. **Васильев А. В.** Шумовая безопасность урбанизированных территорий. [Текст] / Васильев А. В. — Известия Самарского научного центра РАН. — 2014. — Т. 16. — № 1. — С. 299–305.

*У. А. Голякова, студ.; рук. И. В. Королёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 5G НА НАСЕЛЕНИЕ**

Развитие высокоскоростного Интернета привело к появлению сетей 5G, которое позволит обеспечить большую скорость передачи данных. К частотному диапазону 5G относят диапазон 27,1–27,5 ГГц [1]. Запуск новых сетей 5G и увеличение числа базовых станций приводит к росту числа облучаемых лиц, поэтому проведение исследования влияния сотовой связи 5G на население является актуальной задачей.

Исследование влияния сетей сотовой связи 5G показало, что система 5G усложняет условия облучения населения электромагнитным полем и увеличивает риски развития известных неспецифических заболеваний нервной и иммунной систем человека.

Нормирование ЭМП для населения согласно [2] осуществляется для частотного диапазона 0,3–300 ГГц и составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) устанавливает норму 1 мВт/см<sup>2</sup>.

При нормировании ЭМП 5G исходят из интенсивности электромагнитного поля, которое не приводит даже к временному нарушению саморегуляции функций организма, а также к напряжению его защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени. Защита от воздействия электромагнитного поля может осуществляться как путем ограничения значения воздействующего поля, так и времени его воздействия.

При исследовании влияния 5G на человека проведены опыты по расчёту мощности поглощения в голове пользователя мобильного телефона, который базируется на основе модели биологического объекта, состоящей из трёх слоёв: кожа, кость, мозг. Опыты показывают, что отдаление телефона от головы, приводит к уменьшению величины удельной поглощаемой мощности более чем в 20 раз, что является хорошей защитой от воздействия электромагнитного поля.

### **Литература**

1. **Решение ГКРЧ** при Минкомсвязи РФ от 4 июля 2017 г. № 17-42-06
2. **СанПиН 2.1.8/2.2.4-1383** «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов»

*Е. А. Шепелева, студ.; рук. И. В. Королёв, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЭП ПЧ**

Токоведущие части электрических установок (ЭУ) являются основными источниками электромагнитных полей на производстве [1]. Персонал, обслуживающий энергообъекты, может подвергаться негативному воздействию ЭП ПЧ превышающих допустимые, следовательно, необходимо снижение ЭП до ПДУ [2]. Один из способов защиты — использование защитных комплектов персоналом, обслуживающим ЭУ.

Проведен анализ технических характеристик СИЗ от воздействия ЭП ПЧ, который выявил, что наилучший из представленных на рынке комплектов — ЭП-4(0). В высоковольтном зале «НИУ «МЭИ» были проведены измерения напряженностей ЭП ПЧ без применения и с использованием двух вариантов экранирующего комплекта ЭП-4(0) — комбинезона и костюма, состоящего из куртки и брюк. Для оценки эффективности экранирующих комплектов определены коэффициенты экранирования — степень ослабления ЭП ПЧ при использовании защитного комплекта. Коэффициенты экранирования для двух вариантов комплектов ЭП-4(0) (комбинезон, куртка и брюки) приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Коэффициенты экранирования СИЗ

Комбинезон				Куртка и брюки			
С капюшоном		В сборке		С капюшоном		В сборке	
Верг	Гориз	Верг	Гориз	Верг	Гориз	Верг	Гориз
55,65	53,79	80,23	72,94	53,65	52,83	78,98	72,65

По результатам расчета сделан вывод о том, что из-за наличия дополнительных соединений общий коэффициент экранирования ниже у костюма из куртки и брюк.

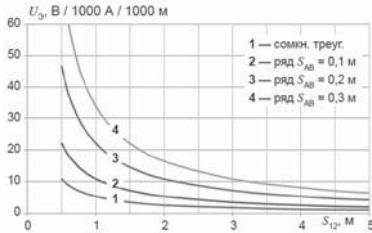
Предлагается применение варианта защитного костюма в виде комбинезона, имеющего наибольший коэффициент экранирования с дальнейшим усовершенствованием конструкции для улучшения экранирующих свойств.

### **Литература**

1. Григорьев Ю. Г., Степанов В. С., Григорьев О. А., Меркулов А. В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное издание // Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999
2. Медведев В. Т., Колечицкий Е. С., Кондратьева О. Е. Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках. М.: Издательство «МЭИ», 2015 г.

К. Р. Ахметзянова, студ.; рук. И. В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ



**Рис. 1.** Зависимость напряжения, наведенного на экране отключенной КЛ за счет МП действующей от взаимного расположения КЛ

ЭП вне кабеля. Экраны кабеля должны быть заземлены хотя бы в одной точке, в начале и/или конце КЛ [1]. Так как ЭП за пределами кабеля отсутствует, рассматривается влияние магнитного поля соседних КЛ друг на друга (рис. 1).

При двухцепном расположении КЛ1 и КЛ2 [2] величина НН составляет:

$$U_{э1} = U_{э1}^{гр} \cdot \frac{I_{ж}}{1000} \cdot \frac{l_k}{1000} = 30 \cdot \frac{500}{1000} \cdot \frac{3000}{1000} = 45В \quad (1)$$

где  $U_{э}^{гр}$  — НН согласно рис. 1;  $I_{ж}$  — ток жилы, А;  $l_k$  — длина участка на котором КЛ1 и КЛ2 параллельны друг другу; расстояние между КЛ  $S_{12}=0,7$  м, расстояние между фазами КЛ  $S_{AB}=S_{BC}=0,2$  м.

При расположении кабелей КЛ1 и КЛ2 треугольником НН значительно снижается и составляет  $U_{э2}=9$  В.

Сравнивая полученные значения с нормированным  $U=20$  В [1] можно сделать вывод о том, что на величину НН влияет взаимное расположение КЛ — при расположении фаз КЛ треугольником значение НН не превышает предельно допустимого значения.

### Литература

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
2. **Дмитриев М. В.** Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2010. — 152 с.

*А. К. Быковский, студ.;*  
*рук. О. Е. Кондратьева, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Профилактика производственного травматизма имеет важное значение для государства. Улучшение условий труда и сохранение здоровья работников стимулируется комплексом мер, разработанным на основании анализа результатов расследования несчастных случаев. [1].

Одним из основных вопросов при анализе травматизма с целью разработки эффективных мероприятий по его снижению является выявление коренных причин травмирования работника. Чаще всего в качестве исходных данных для анализа используются результаты расследования несчастных случаев, в которых причины определяются на основании стандартных классификаций. В работе проведен анализ существующих классификаций причин травматизма для определения основных направлений их совершенствования.

В классификации причин травматизма традиционно выделяется три основных вида: организационные (недостаточная обученность рабочих и т. д.), технические (например, неисправное состояние оборудования) и субъективные, которые учитывают различия социально-экономических и психофизиологических факторов [2].

Результаты сравнения показывают, что классификации содержат обобщённый перечень причин, что не позволяет разработать эффективные мероприятия по снижению уровня травматизма. В работе предложена классификация причин производственного травматизма на две группы: объективные и субъективные причины. Каждый уровень в дальнейшем уточняется в виде схемы. Такой подход позволяет произвести более чёткую декомпозицию причин травматизма. Элементы одного ранга будут дополнять друг друга, внося вклад в функционирование элемента высшего уровня.

### **Литература**

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 833-р от 26 апреля 2019 г.
2. **Едаменко А. С.** Анализ причин травматизма в строительном комплексе / А. С. Едаменко // XXVI междунар. научно-практ. конф. — Новосибирск. 2013. No 9 (22) [Электронный ресурс]. URL: <https://sibac.info/conf/tech/xxvi/34158>

*А. А. Афанасьева, студ.;  
рук. И. В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ КОСВЕННОМ ПРИКОСНОВЕНИИ**

Увеличение автоматизации производства приводит к появлению большего количества электроустановок (ЭУ). Персонал, работающий с электрооборудованием, при неисправности ЭУ может быть поражен электрическим током. Следовательно, проблема обеспечения электробезопасности на производстве является актуальной задачей.

В работе рассматриваются основные существующие способы и методы защиты от поражения электрическим током преимущественно при косвенном прикосновении. Установлено, что некоторые электротехнические меры не могут обеспечить электробезопасность одиночным применением, поэтому применяются совместно с автоматическим отключением питания [1]. При применении в качестве защитной меры автоматического отключения питания открытые проводящие части ЭУ должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания в системе TN и заземлены в системах IT и TT [2]. Одним из способов обеспечения электробезопасности является электрическое разделение сети на отдельные, не связанные между собой участки.

Показано, что для уменьшения опасности поражения человека электрическим током при возможности обрыва нулевого провода и замыкании фазы на корпус за местом обрыва необходимо произвести повторное заземление нулевого провода [2]. В работе был проведен расчет защитного зануления на отключающую способность, проводится расчет сопротивления повторного заземления нулевого защитного проводника и контура заземляющего устройства. С помощью программ «Селективность» и «ТЕРЛО» проводится проверка селективности срабатывания автоматических выключателей, а также проверка термостойкости кабелей при адиабатическом и неадиабатическом нагреве.

Предлагается оценивать систему электроснабжения на промышленном объекте с учетом безопасности человека, селективности автоматических выключателей и термостойкости кабелей.

### **Литература**

1. **Медведев В. Т., Колечицкий Е. С., Кондратьева О. Е.** Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. **Правила устройства электроустановок.** — 7 изд. М.: НТБЦПБ, 2012.

*В. А. Старцев, О. В. Жукова, студенты;  
рук. А. М. Боровкова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА НАСЕЛЕНИЕ**

Согласно федеральным законам 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» существует необходимость в проведении оценки показателей, отражающих состояние здоровья населения при воздействии негативных антропогенных факторов.

При этом утвержденная методика, по которой производится расчет интегрального показателя, отражающего степень воздействия промышленных предприятий на население по физическим и химическим факторам отсутствует.

При оценке воздействия химических веществ, воздействующих на население, используют риск-ориентированный подход, представленный в руководстве Р 2.1.10.1920-04. Основными минусами данной методики [1] является сложность расчетов и необходимость в специальной программе.

Чтобы оценить шумовое воздействие на население пользуются расчетом, представленным в МР 2.1.10.0059-12 [2].

В предложенной авторами [3] методике расчет техногенных нагрузок основывается на проведении экспертных оценках, учитывающий химическое и радиационное загрязнение окружающей среды. Результатом методики является комплексный показатель, однако существенными минусами рассматриваемой методики является субъективность и возможные погрешности при проведении оценки, а также затраты на привлечение опытных экспертов.

Сравнительный анализ методик для оценки воздействия химических и физических факторов показал, что большинство из них либо учитывают ограниченный перечень факторов, либо малоинформативны.

### **Литература**

1. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ — Р 2.1.10.1920-04 от 5.03.2004 г. — Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. — 144 с.
2. Методические рекомендации по оценке риска здоровью населения от воздействия шума — МР 2.1.10.0059-12 от 23.03.2012 — Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. — 54 с.
3. **Гегерь Э. В.** Экологическая оценка влияния техногенных нагрузок на здоровье населения, ФГБОУ ВПО «БГУ им. И. Г. Петровского» / Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. — Брянск, 2014. — 44 с.



*Е. И. Макулова, студ.;  
руководитель О. Е. Кондратьева, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Организация системы управления охраной труда (СУОТ) в ВУЗах имеет ряд особенностей:

- в образовательных организациях штат службы охраны труда имеет ограниченное количество;
- ВУЗы имеют большое количество сотрудников, для которых законодательством предусмотрены обязательные процедуры СУОТ.

Поэтому особую актуальность для ВУЗов в настоящее время имеет выбор программного обеспечения (ПО), позволяющего оптимизировать временные и трудовые затраты на поддержание функционирования СУОТ.

Для выбора ПО по охране труда в НИУ «МЭИ» были выделены основные подсистемы программного обеспечения для образовательных учреждений, такие как: ведение инструктажей различных видов, учет проведенных медосмотров, результаты специальной оценке условий труда на рабочих местах, СИЗ. Для НИУ «МЭИ» имеет место обязательная подсистема «Экология», так как в состав данного ВУЗа входит ТЭЦ, которая оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее целесообразным в техническом и экономическом плане для реализации основных процедур СУОТ в НИУ «МЭИ» является применение следующих ПО: «Охрана труда для 1С: предприятие 8» и «Информационная Система Управления «Промышленная Безопасность и Охрана Труда». Каждое из ПО имеет в своем составе необходимые подсистемы и основаны на популярных базах данных, что не составит трудностей в освоении новых задач.

### **Литература**

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/)

*Д. А. Ильин, студент; рук. А. М. Боровкова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК МЕНЕДЖМЕНТА РИСКА**

На сегодняшний день действующая методика менеджмента риска в сфере охраны труда применяется на подавляющем большинстве предприятий. В связи с внедрением новых нормативных документов, таких как ГОСТ ИСО 31000-2019, который адаптирует современную методику менеджмента риска под законодательство РФ, возникает необходимость в проведении сравнительного анализа действующей и современной методик менеджмента риска.

Действующая методика представляет собой управление рисками, которое включает в себя анализ несчастных случаев, произошедших за определенное время, и оценку приемлемости риска на основе проанализированных данных. На основе полученных данных о рисках разрабатываются мероприятия, направленные на их уменьшение [1].

Современная методика подразумевает процесс управления организацией, которая в свою очередь специализируется на управлении риском. В данной методике, в отличие от действующей, управление риском основывается на обнаружении неопределенностей. Это означает, что наибольшим риском является событие, которое никогда не происходило, а события, негативно влияющие на организацию с определенной периодичностью, уменьшают возможный риск, соответственно, чем выше частота несчастных случаев, тем меньше риск [1].

В результате проведенного анализа, основанного на качественной и количественной оценке рассматриваемых методик, для внедрения на объекте была выбрана современная методика и разработаны следующие рекомендации по ее введению на предприятии: составить реестр идентифицированных опасностей, учитывая максимальный потенциальный ущерб каждой; разработать реестр приемлемых в организации защитных мер и оценить их эффективность и др.

### **Литература**

1. **Федорец А. Г.** Применение современной технологии риск-менеджмента в системах менеджмента безопасности труда и охраны здоровья / Журнал «Безопасность и охрана труда» № 1, 2018, 1–10 с. [Электронный ресурс]: <https://biota.ru/publishing/magazine/bezopasnost-i-oxrana-truda-%E2%84%961,2018/primenenie-sovremennoj-metodologii-risk-menedzhmenta.html>

*Л. Д. Михайлова, студ.; рук. М. С. Хвостова, к. г. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Ряд радиационных аварий в России и мире показал, что их последствия являются тяжелыми и долговременными. Так, в результате аварии на ЧАЭС общая площадь радиоактивно загрязненных территорий (РЗТ) только в России с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км<sup>2</sup> по цезию — 137 достигла почти 60 тыс. км. На РЗТ оказалось около 8 тыс. населенных пунктов, где проживало около 3 млн человек [1]. Остаточное радиоактивное загрязнение окружающей среды сохраняется на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа и бассейна реки Теча как следствие деятельности ПО «Маяк» (Челябинская обл.).

Цель работы — сформировать научно-методические основы обеспечения радиационной безопасности на РЗТ (на примере Брянской обл.). В ходе исследования была создана структура научно-методических основ, которые включают в себя следующие направления:

1. Оценка современного радиоэкологического состояния территории Брянской обл. (радиоэкологический мониторинг).
2. Нормативно-правовое регулирование и организация жизнеобеспечения населения, проживающего на РЗТ.
3. Развитие технологии работы с населением.
4. Организация НИР по различным направлениям (прогнозирование динамики изменения радиоактивного загрязнения природных сред, медико-демографические исследования, решение научно-технических проблем в области совершенствования методов и средств радиационной защиты населения).
5. Анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, которые могут привести к ухудшению радиационной обстановки на территории.

В результате проведенного исследования получена научно-методическая модель обеспечения радиационной безопасности на радиоактивно загрязненных территориях. Представлены рекомендации по разработке методик оценки риска возникновения ЧС на радиоактивно загрязненных территориях, учитывающих климатические изменения, ухудшение экологической обстановки, появление новых угроз и опасностей, а также даны предложения по разработке рациональных способов повышения радиационной безопасности и перехода к высоким технологиям и цифровизации.

### **Литература**

1. Бахур А. Е., Стародубов А. В., Зуев Д. М. Радиоактивные ландшафты Брянской области вчера и сегодня // АНРИ. 2005. № 2 (41). С. 2–10.

*А. И. Комин, П. А. Носорев, студенты;  
рук. А. А. Завьялова, к.т.н., доц.,  
А. С. Козодаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЧИСТКА ГАЛЬВАНОСТОКОВ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО ФЛОТАЦИОННОГО АППАРАТА**

Гальванический метод обработки металлических покрытий широко используется в различных отраслях промышленности. На детали наносится слой защитного или декоративного гальванического покрытия. Гальваническое производство предполагает образование сточных вод с высоким содержанием тяжелых металлов. Для удаления тяжелых металлов применяются различные физико-химические методы.

Реагентный метод является одним из наиболее популярных из-за его универсальности и простоты эксплуатации. Данный метод предполагает использование реагентов для проведения корректировки pH, коагуляции и флокуляции для получения хлопьев, которые удаляются с помощью отстаивания [1]. Отстаивание осуществляется в специальных резервуарах — отстойниках. Однако данный метод имеет ряд недостатков, а именно громоздкость оборудования, длительное время очистки и необходимость в значительных площадях для каждого этапа.

В качестве технического решения предлагается использовать флотокомбайн, представляющий собой устройство, реализующее комбинацию методов очистки воды. Флотокомбайн включает в себя реактор корректировки pH, флотатор, тонкослойный отстойник и фильтр доочистки. Использование флотатора для удаления хлопьевидных загрязнений приводит к сокращению времени очистки до 15–20 минут [2]. Применение флотокомбайна помогает сэкономить место на территории предприятия, так как габаритные размеры комбинированного аппарата меньше по сравнению с установкой по отдельности отстойника, флотатора и блока доочистки.

### **Литература**

1. **Алексеев Е. В.** Физико-химическая очистка сточных вод. М.: Ассоциация строительных вузов, 2007. 248 с.
2. **Ксенофонтов Б. С.** Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010.

*И. А. Ершов, асп.;*  
*рук. О. В. Стукач, д.т.н., проф. (НГТУ, Новосибирск)*

## **ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДАННЫХ С ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ**

Область использования оптоволоконных датчиков температуры постоянно расширяется. Одним из самых перспективных направлений является нефтегазовая отрасль. Использование оптоволоконных датчиков температуры для мониторинга состояния скважины в режиме реального времени сейчас является повсеместной практикой. Это обусловлено в первую очередь принципиальным отличием оптоволоконных датчиков от классических электронных сенсоров: возможностью проводить измерения по всей длине волокна с высоким пространственным разрешением [1].

Для мониторинга состояния скважины температурный датчик должен обладать высоким быстродействием и низкой погрешностью измерений. Уменьшение этой погрешности не является решённой задачей, что связано с цифровой обработкой шумоподобного сигнала. В результате возникает противоречие, когда для уменьшения погрешности требуется получить множество реализаций отклика сигнала из волокна, после чего использовать сложные методы идентификации. И наоборот, для увеличения быстродействия требуется уменьшить количество реализаций и использовать простые методы идентификации сигнала.

В докладе будет рассмотрен наиболее перспективный метод экстремальной фильтрации [2]. Его алгоритм аналогичен более известному методу эмпирической модовой декомпозиции (EMD). Главное отличие экстремальной фильтрации от метода EMD заключается в отсутствии сложных математических вычислений. Результаты обработки сигналов с реального оптоволоконного датчика температуры показывают высокую эффективность данного метода. Отсутствие сложных вычислений благоприятно сказывается на быстродействии измерительной системы. Приводятся результаты моделирования и обработки реальных сигналов с датчиков в сравнении с известными методами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00321.

### **Литература**

1. **О. В. Стукач, И. В. Сычев.** Обработка сигнала в распределенных оптоволоконных датчиках температуры на комбинационном рассеянии света: обзор новых результатов / Радиотехника. — 2018. — N 3. — С. 86–92.
2. **Экспресс-анализ сигналов в инженерных задачах** / Н. В. Мясникова, М. П. Берестень и др. — М.: Физматлит, 2016, — 184 с.

*П. Н. Баева, студ.; рук. А. М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЭС ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ**

Для надежной и бесперебойной работы теплоэнергетического оборудования необходимо правильно составлять график планово-предупредительных ремонтов (ППР) — комплекс организационных и технических мероприятий по уходу, надзору, эксплуатации и ремонту технологического оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии.

Существует методика расчета надежности ТЭС, базирующаяся на определении индекса технического состояния  $K_{ИТС}$ , численное значение которого (0–100) определяет уровень необходимого технического воздействия, а, следовательно, определяет и график ППР. Однако в данной методике в расчете  $K_{ИТС}$  помимо показателей, напрямую характеризующих надежность, также участвуют показатели безопасности и тепловой экономичности. Это приводит к недостоверному результату расчета индекса технического состояния и к ошибочному планированию ремонтных работ.

В работе предложено усовершенствование методики, в которой  $K_{ИТС}$  каждого агрегата энергоблока определяется только по физическим параметрам, напрямую определяющим его работоспособность, что позволило перейти к количественным показателям надежности и дало возможность получать достоверные результаты расчета рисков отказа оборудования и планирование ППР. Это позволит энергогенерирующим компаниям правильно прогнозировать периодичность и объемы ППР, формировать плановые и внеплановые затраты на ремонт, а также своевременную модернизацию оборудования, что гарантирует выполнение обязательств по поставкам электроэнергии и тепла и получение максимальной прибыли.

### **Литература**

1. **Беляев С. А., Воробьев А. В., Литвак В. В.** Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. И.: Томский политехнический университет, 2015.
2. **Байдюк М. А., Комаров Г. В.** Оценка технического состояния и надежности электрических машин // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 3.
3. **Крупенёв Д. С.** Оценка и синтез сетевой надежности электроэнергетической системы // Проблемы энергетики. 2010. № 9–10.

*М. М. Рукавишников, студент;  
рук. Н. В. Озерова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТКО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА**

Ежегодно в России, согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии России, образуется примерно 70 млн тонн твердых коммунальных отходов [1]. Однако только 5–7% от общего количества подвергаются различным видам переработки и утилизации.

Вступившие в силу с текущего года изменения в Федеральном законе от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. 27.12.2019) вводят понятие “энергетической утилизации” — сжигания отходов с целью получения энергии.

Цементная отрасль содержит в себе перспективы к развитию энергетической утилизации отходов, поскольку в технологический процесс производства цемента могут быть вовлечены ТКО в качестве альтернативного топлива и/или сырьевых компонентов.

В работе были проанализированы технологии производства цементного клинкера, которые могут обеспечить сжигание ТКО непосредственно в цементных печах с учётом требований к физико-химическому составу отходов и необходимым свойствам клинкера.

Эффективное сжигание отходов могут обеспечивать клинкерные барабанные вращающиеся печи, оснащенные теплообменником, декарбонизатором и третичным воздухопроводом, которые, как правило, уже установлены на современных заводах по производству цемента.

Современные печные агрегаты позволяют предусмотреть различные точки подачи альтернативного топлива в печь для утилизации отходов различных фракций. При этом высокими температурами обеспечивается безопасное сжигание ТКО с разложением стойких органических соединений (например, диоксинов и фуранов).

Кроме того, заменяя некоторое количество традиционного ископаемого топлива альтернативным, можно добиться положительного экономического эффекта производства, снизив себестоимость производства цемента.

В ходе работы был произведен расчет эколого-экономической эффективности в результате внедрения энергетической утилизации ТКО на предприятии по производству цемента.

### **Литература**

1. **Бухарова О., Передельский Д.** Чисто. Конкретно // Российская газета — Федеральный выпуск от 26.12.2018. № 291.

*А. А. Шаршунский, студ.;*  
*рук. А. В. Мордвинова, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАССТОЯНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Крупные пожары на производственных предприятиях всегда были и остаются одними из самых сложных, способных перейти в статус чрезвычайных ситуаций. Наиболее простым решением по ограничению распространения пожара является размещение зданий и сооружений на определенном минимальном противопожарном расстоянии друг от друга. В соответствии с требованиями закона противопожарные расстояния относятся к разновидности противопожарных преград, наряду с разнообразными противопожарными стенами, перегородками, экранами и водяными завесами. [1]

Целью данной работы является аналитический обзор существующих видов противопожарных преград, нормативных требований к ним и способов расчетов минимальных противопожарных расстояний. В работе рассматриваются положения нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности, а также различные научно-технические публикации на данную тему. Установлено, что существуют производственные объекты, на которых имеется вынужденное сокращение минимальных противопожарных расстояний, установленных нормами, при этом необходимо разработать способы предотвращения эскалации пожара путём применения комбинированных методов. [1]

В ходе работы были проанализированы существующие методы расчета минимальных противопожарных расстояний, исходя из расчета опасных факторов пожара и методы расчета снижения величины опасного фактора пожара при наличии противопожарной преграды. Существующие методы позволяют рассчитать минимальные противопожарные расстояния, исходя из расчетов интенсивности теплового потока, выделяемого при пожаре, с учетом его постепенного рассеивания при отдалении от очага пожара, а также можно рассчитать снижение интенсивности при прохождении теплового потока через противопожарную преграду [2].

### **Литература**

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
2. Свод правил 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» (с Изменением № 1)



*Р. А. Анисимов, асп.; рук. О. Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

В соответствии с Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации [1] стратегической целью для нашей страны является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики и сохранение благоприятной окружающей среды. В качестве основного инструмента для достижения данной цели определен переход российской промышленности на принципы наилучших доступных технологий (НДТ).

До конца 2025 г. все энергетические предприятия со значительной степенью негативного воздействия на окружающую среду, отнесенные к I категории, обязаны осуществить внедрение НДТ. Для повышения эффективности и обоснованности принятия управленческих решений в области повышения экологической безопасности и обеспечения устойчивого развития города Москвы необходимо определение перечня показателей оценки эффективности перехода предприятий энергетики на НДТ.

В работе проведен сравнительный анализ основных групп показателей для оценки внедрения природоохранных технологий, таких как показатели: антропогенного воздействия и качества окружающей среды, эколого-экономические, социальные и показатели устойчивого развития. Установлено, что наиболее информативными являются первая и вторая группа показателей.

Для формирования перечня рекомендуемых показателей были определены следующие основные критерии выбора: информативность, доступность исходных данных, требования к квалификации экспертов и сложность расчета. На основании вышеперечисленных критериев определен перечень показателей для оценки эффективности внедрения НДТ и показано, что наиболее перспективными, с точки зрения снижения негативного воздействия энергетических предприятий на окружающую среду являются такие виды потенциально возможных положительных эффектов, как: снижение загрязнения атмосферного воздуха, повышение энергоэффективности, ресурсосбережение.

### **Литература**

1. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года (утв. Президентом РФ от 30 апреля 2012 г.)

О. А. Локтионов, асп. (НИУ «МЭИ»)

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ

Снижение возникновения несчастных случаев является одной из важнейших задач безопасности труда на производстве. Основным механизмом, направленным на минимизацию потенциальных опасностей, является систематический обзор и анализ причинно-следственных связей случаев производственного травматизма.

В рамках исследования осуществлен обзор ключевых моделей причинно-следственных связей, которые применяются специалистами по промышленной безопасности в международных компаниях, и разработана классификация, включающая последовательные, сложные линейные и нелинейные модели. На основании сравнительного анализа зарубежных методов анализа причинно-следственных связей несчастных случаев было выявлено, что в связи с высокой степенью достоверности и наличием теоретической базы предиктивного анализа травм наиболее целесообразны для применения в России следующие типы моделей:

- обобщенная модель временной последовательности (Benner; Viner) [1];
- функциональная резонансная модель несчастного случая FRAM (Hollnagel) [2];
- социотехническая модель управления безопасностью (Manuele) [3].

К недостаткам каждого из перечисленных методов можно отнести высокие требования к временным и трудовым затратам на внедрение в произведённый процесс, однако наличие опыта внедрения систем оценки надежности и процессных подходов риск-менеджмента в передовых энергетических компаниях нивелирует этот нюанс.

### Литература

1. **Viner D.** (1991), Accident analysis and risk control, Derek Viner Pty Ltd, Melbourne
2. **Hollnagel E.** (2004). Barriers and Accident Prevention: Aldershot: Ashgate
3. **Murata A.** (2017). Cultural difference and cognitive biases as a trigger of critical crashes or disasters-evidence from case studies of human factors analysis. Journal of Behavioral and Brain Science, 7(09), 399. doi:10.4236/jbbs.2017.79029

*Е. М. Воронкова, асп.;*  
*рук. О. Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Статистика Росгидромета [1] свидетельствует о росте различных опасных погодных явлений за последние пять лет на территории РФ. В энергетическом комплексе воздействие погодно-климатических явлений в наибольшей степени влияет на техническое состояние воздушных линий электропередачи (ВЛ), на долю которых ежегодно приходится около 40% технологических нарушений климатического характера [2]. Детальный анализ воздействующих климатических факторов отдельных регионов является важной составляющей надежного электроснабжения потребителей.

Большинство российских и зарубежных энергетических компаний проводят расчеты по определению традиционных показателей надежности: SAIFI и SAIDI — без учета разделения показателей по причинам возникновения аварийных отключений. В работе предложен методологический подход расчета количества инцидентов отключений ВЛ климатического характера, заключающийся в последовательном многоэтапном ретроспективном анализе журналов аварийности с 2014 по 2018 гг. на примере электросетевых компаний, располагающихся на территориях Республики Башкортостан, Краснодарского края и Республики Адыгеи, Забайкальского края.

На основании статистического анализа для рассматриваемых территорий была проведена оценка степени влияния погодно-климатических явлений на показатели надежности ВЛ: среднюю интенсивность отказов и продолжительность отключения. Установлено, что для Республики Башкортостан, Краснодарского края и Республики Адыгея основной вклад в показатели надежности вносят воздействие ветра и грозы, для Забайкальского края — ветра. Средняя интенсивность отказов за пять лет составляет примерно 0,15 (1/(год·км)) для всех областей, кроме Краснодарского края и Республики Адыгея. Это связано в первую очередь с большой протяженностью ВЛ, меньшим количеством осадков и влиянием ветра по сравнению с другими регионами. Для каждого региона определены критические скорости ветра.

В результате исследования были получены данные, которые можно использовать для обоснования рекомендаций по улучшению технического состояния ВЛ с учетом климатических изменений.

### **Литература**

1. Ежегодные доклады о состоянии климата [Электронный ресурс] // Росгидромет: изменение климата России. URL: [http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com\\_docman&Itemid=73&gid=27&lang=ru](http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&Itemid=73&gid=27&lang=ru) (дата обращения: 20.07.2019).
2. Годовые отчеты ПАО «РОССЕТИ», 2010–2018. URL: <https://rosseti.ru/investors/info/year/> (Дата обращения: 01.07.2019).

*М. А. Юнусов, студ.; рук. А. А. Завьялова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА БЕЗРЕАГЕНТНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

Сточные воды предприятий различных отраслей содержат тяжелые металлы в концентрациях превышающие допустимые для сброса. Снижение концентрации тяжелых металлов и их соединений на данный момент обеспечивается целым рядом методов. Общей проблемой данных методов является потребность постоянного приобретения реагентов, мембран, электродов и т. д. В связи с этим, представляется перспективным использование систем, не требующих эксплуатационных затрат.

Работа посвящена разработке безреагентного фильтра, позволяющего удалить из воды тяжелые металлы и их соединения, работающего на принципе гальванокоагуляции. Фильтр представляет из себя цилиндрический сосуд, заполненный смесью алюминия и активированного угля. Внутри фильтра протекает процесс электрокоагуляции, благодаря перфорированным дискам. Диски представляют собой электродную пару алюминий-графит, являющуюся электрохимическим источником тока. Микротоки, образующиеся в поле гальванопары, губительно действуют на патогенную микрофлору сточных вод, тем самым обеспечивая их обеззараживание [1]. Во избежание пассивации загрузки и цементирования гальванопары, необходимым условием является перемешивание элементов фильтра при помощи вращения механического шнека. Таким образом происходит восстановление свойств гальванопары, что повышает эксплуатационные качества фильтра.

Метод весьма экономичен и обладает низкой удельной энергоёмкостью благодаря тому, что электрическая цепь между элементами гальванопары возникает при погружении их в обрабатываемый раствор в условиях отсутствия внешнего источника энергии [2].

### **Литература**

1. **Соложенкин П. М.** Гальванохимическая обработка сточных вод / П. М. Соложенкин, В. П. Небера // Экология и промышленность России. — 2000. — № 7. — С. 10–13.
2. Исследование эффективности метода гальванохимической обработки для очистки сточных вод гальванических производств / В. В. Озернянская [и др.] — Вестник ДГТУ, 2010. Т. 10. № 7 (50).

*Б. А. Журавлев, студ.;  
рук. Е. В. Федорова, доцент, к.м.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНАЖЕРА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ И СОТРУДНИКОВ**

В настоящее время обучение персонала стало неотъемлемым ключевым фактором развития успешных организаций. Работодатели обучают своих сотрудников охране труда и промышленной безопасности, владению современным программным обеспечением, умению встраиваться в коллектив, верификации объектов. Успех, производительность и развитие предприятия напрямую зависит от качества знаний и умения применять их на практике сотрудниками. В настоящее время в процессе обучения используются различные методики, наиболее эффективные из них сочетают в себе как теоретические, так и практические занятия. [1]. [2]. [3].

В ходе работы был спроектирован и создан лабораторный практикум по производственному контролю для обучения студентов кафедры инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ». При его создании использованы VR/AR технологии.

VR — виртуальная реальность, трехмерная смоделированная окружающая среда, которая проектируется с помощью компьютера и взаимодействует в реальном времени с пользователем. Принципиальное отличие от других компьютерных технологий — обеспечение эффекта личного присутствия и участия.

Тренажер виртуальной реальности, как методика обучения, показывает высокую эффективность восприятия материала в сравнении с классическими методами обучения и способствует уменьшению совершению ошибок на практике. Обучающиеся сами становятся действующими участниками процесса и выполняют необходимые технологические операции, тем самым улучшая мышечную память.

Данная технология позволит проводить обучение сотрудников дистанционно, что очень актуально в условиях распространения коронавирусной инфекции. В дальнейшем тренажер планируется усовершенствовать для добавления новых модификаций и программ обучения по охране труда.

### **Литература**

1. **Алексеев В. М., Халяпин А. А.** Задачи обучения работников требованиям охраны труда // «инновационная наука» № 11-2/2016 с. 13–15
2. **Жердева К. Ю., Манжос О. А., Дацких Я. А.** Совершенствование обучения по охране труда на предприятиях малого и среднего бизнеса // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. 2016. № 1 (8). С. 79–82.
3. **Лексина Т. И.** Организация и качество обучения по охране труда // Интеграция образования. 2013. № 1 (70). С. 104–107.

*Э. Ф. Байtimiрова, студ.;  
рук. М. С. Хвостова, д. г. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ**

Развитие Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) в качестве стратегической ресурсной базы и ее рациональное использование в целях ускорения экономического роста — является одним из национальных интересов РФ. Освоение АЗРФ гарантирует увеличение объемов добычи нефти, что имеет для России важное стратегическое значение. На настоящий момент в АЗРФ уже открыто 364 месторождения углеводородов, включая 334 на суше и 30 на шельфе и в переходной зоне суша-море [1]. Однако промышленное освоение нефтяных месторождений повышает техногенную нагрузку на экосистемы региона. В связи с этим необходима прогнозная оценка нефтяного загрязнения для разработки мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций и расчета возможного ущерба.

Проведенный анализ показал, что к 2030 г. будет введено в эксплуатацию 30 передвижных буровых платформ. Однако этот срок может быть сокращен, так как глобальное потепление повлечет уменьшение ледового покрова в арктических морях, что в свою очередь приведет к увеличению длительности сезона навигации, более благоприятным условиям хозяйственной деятельности в Арктике. Нефтяные разливы с морских нефтедобывающих платформ могут произойти на любом этапе добычи, хранения и транспортировки нефти. Кроме того, разработка месторождений нефти на шельфе повлечет за собой увеличение плотности движения судов. Новые морские пути создадут дополнительные судоходные риски и связанные с ними риски разливов. Поэтому широкомасштабное освоение акваторий Арктики способно принести колоссальные экономические убытки, связанные с необходимостью ликвидации последствий возможных аварий и катастроф.

Также сделаны выводы, что не смотря на глобальное потепление, природно-климатические условия в АЗРФ остаются суровыми. Кроме того, криолито- и криогидросферы Арктики характеризуются низким уровнем фундаментальных научных исследований опасных процессов и явлений, часть которых стала известна лишь в последние годы, и которые могут явиться причинами чрезвычайных ситуаций с разливами нефти.

### **Литература**

1. **Богоявленский В. И., Богоявленский И. В.** Основные результаты и перспективы освоения ресурсов нефти и газа Арктики // Научные труды ВЭО. Т. 216. 2019 г. С. 54–77.

*А. И. Балашова, студ.; рук. А. В. Мордвинова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭВАКУАЦИИ С НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

За 1 полугодие 2020 года в Московской области согласно статистике представленной в отчете МЧС, произошло около 16 тысяч пожаров, около 4% которых произошло на производственных объектах и наружных установках. [1]

Под наружными установками согласно ФЗ № 123 [2] понимают комплекс аппаратов и технологического оборудования, расположенного вне зданий и сооружений.

В настоящее время недостаточно требований, позволяющей проектировать пути эвакуации, если они прокладываются от наружных установок предприятия в безопасную зону. ФЗ-123, являющийся основным нормативным правовым актом в области пожарной безопасности, предполагает, что эвакуация производится из закрытых помещений и зданий непосредственно наружу, но данные требования не подходят для наружных установок так как существует большое количество видов открытых, многоярусных и высотных сооружений, где находятся площадки обслуживания персонала, а безопасная зона может быть расположена на определенном расстоянии.

Эвакуация с наружных объектов возможна только по эвакуационным лестницам 3-го типа (размещается снаружи строения), но требования не подразумевают их установку выше 2-го этажа здания [3] или по лестницам вертикального наружного типа, но данные лестницы не соответствуют стандартам, предъявляемым к лестницам на путях эвакуации.

В связи с данными особенностями, необходимо внести изменения в основной нормативно-правовой акт, регламентирующий требования пожарной безопасности, а именно в федеральный закон № 123, а также в свод правил 1.13130.2020, устанавливающий требования пожарной безопасности к эвакуационным путям для наружных технологических установок.

### **Литература**

1. **ГУ МЧС «Анализ пожаров и их последствий на территории Московской области за 6 месяцев 2020 года»** [Электронный ресурс] URL: <http://50.mchs.gov.ru> (Дата обращения: 27.10.2020)
2. **Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»**
3. **СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»**

**Направление VI**

**ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Economics and management**

---

**Руководитель направления:**

к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна —  
заведующий кафедрой менеджмента  
в энергетике и промышленности НИУ «МЭИ»



**Секция 29**  
**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ**  
**General issues of the economy**

---

*Председатель секции: д.э.н., доцент Лисин Евгений Михайлович*

*Секретарь секции: Коновалова Оксана Геннадьевна*

*Л. А. Петрова, студ.; рук. Л. Д. Капранова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПРИБЫЛИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ АКЦИЙ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ**

С каждым годом в России и в мире растёт интерес к инвестированию на рынке ценных бумаг. Одним из наиболее привлекательных инструментов для формирования инвестиционного портфеля являются акции компаний нефтяной отрасли. Их котировки обладают достаточной волатильностью, чтобы позволить инвестору заработать «сверхдоходность» при условии активного управления портфелем и, при этом, сами компании, как правило, финансово устойчивы, что гарантирует инвестору, осуществляющему пассивное управление, прибыль в долгосрочной перспективе.

Показатель экономической прибыли в его «классическом» варианте (1) отражает превышение доходности инвестированного капитала в компанию над требуемой доходностью.

$$RI = (ROCE - WACC) CE, \quad (1)$$

где:  $RI$  — величина экономической прибыли,  $CE$  — инвестированный или задействованный капитал,  $ROCE$  — доходность инвестированного капитала (отношение чистой прибыли к инвестированному капиталу),  $WACC$  — средневзвешенная стоимость капитала компании.

Так как классическая формула (1) не отражает реальную доходность инвестора-акционера (складывающуюся из доходности от роста цены акций и получаемых дивидендов), предложена следующая модификация (2) расчёта экономической прибыли:

$$RI = ((Div + SPR) - WACC) CE, \quad (2)$$

где:  $RI$  — экономическая прибыль,  $CE$  — инвестированный капитал,  $Div$  — дивидендная доходность,  $SPR$  — доходность от роста цены акции,  $WACC$  — средневзвешенная стоимость капитала компании.

Предполагается использовать классический вариант расчёта экономической прибыли, если на рынке наблюдается кризис, так как динамика котировок акций в это период подвержена искажениям. Иначе — применять модифицированную формулу.

Теоретически, портфель, сформированный на основании данных модифицированной и классической формул, будет превышать по показателям риска-доходности портфель, для структуризации которого были использованы исключительно данные классической формулы. Эффект будет достигнут за счёт повышения точности отражения финансового результата компании.

*В. А. Семенова, студ., рук. Д. Э. Мусаева, доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ИНВЕСТИЦИОННУЮ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОМПАНИИ**

Как указано в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года окружающая среда в городах и на прилегающих к ним территориях, где проживает 74% населения страны, подвергается существенному негативному воздействию, источниками которого являются объекты промышленности, энергетики и транспорта, а также объекты капитального строительства. По экспертным оценкам, негативное воздействие приводит к экономическим потерям, которые составляют 4–6% валового внутреннего продукта [1].

Крупнейшими источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются предприятия цветной и черной металлургии, электроэнергетики, топливных отраслей, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Для предотвращения дальнейшего загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах, а также стимулирования эффективного использования природных ресурсов, повышения уровня утилизации отходов производства и потребления необходимо развивать ответственное инвестирование [2].

Влияние экологического фактора на инвестиционную привлекательность промышленных предприятий изучается многими экономистами, которые предлагают различные модели для проведения расчетов. Однако проведение экологического анализа и расчет экологических факторов не является обязательным в рамках традиционного подхода к оценке эффективности инвестиционных проектов в нашей стране. Экологический фактор не учитывается в должной мере и не является обязательным элементом инвестиционной деятельности предприятия. Таким образом, необходимо создать такую систему обоснования, реализации и оценки инвестиционного проекта, которая будет носить предупреждающий характер, позволит оценить экономическую эффективность инвестиционного проекта через анализ последствий воздействия на окружающую среду и сделать выводы о возможности его реализации.

### **Литература**

1. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года»
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2020. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/).

*А. А. Деревенко, студ.;*  
*рук. Ю. Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РОЛЬ ПРОГРЕССИВНОГО НДФЛ В ФОРМИРОВАНИИ БЮДЖЕТА РФ**

Налог на доходы физических лиц (НДФЛ) является прямым и обязательен к уплате на всей территории страны. Исчисляется в процентах от совокупного дохода физических лиц и уплачивается со всех видов доходов, полученных в календарном году, как в денежной, так и в натуральной форме. [1]

Впервые подоходный налог был введен в России 11.02.1812 года. В годы существования СССР ставки подоходного налога многократно менялись, предпринимались даже попытки его полной отмены. В дальнейшем ставки налога почти ежегодно корректировались по мере роста инфляции, пока в 2001 году не был введен в действие современный НК РФ, впервые в России установивший плоскую шкалу налогообложения доходов физических лиц в размере 13% независимо от суммы дохода. Данная ставка действует и в настоящее время — это основная процентная ставка подоходного налога. Но есть такие виды доходов, которые облагаются по повышенной или пониженной процентной ставкой — 9%, 15%, 30%, 35%. [2]

В сегодняшних российских условиях НДФЛ не стал доминирующим в налоговой системе страны. Несмотря на то, что его отчисления увеличились в общей сумме всех доходов бюджета по сравнению с централизованной экономикой и по объему поступлений в бюджет, он занимает теперь третье место, уступая лишь налогам на добавленную стоимость и на прибыль, все же его доля в доходах консолидированного бюджета около 10%.

С каждым годом поступления в бюджеты налога на доходы физических лиц возрастают, но при этом его удельный вес с каждым годом снижается. Следовательно, можно выдвинуть предположение о том, что это может быть связано с падением доходов физических лиц.

В настоящее время налог на доходы физических лиц играет огромную роль в обеспечении бюджетов всех уровней доходными источниками и в регулировании экономических процессов. [3]

### **Литература**

1. Налоговый Кодекс РФ Ч. 2 г. 23 // Консультант Плюс. <http://www.consultant.ru>
2. <https://www.garant.ru/infografika/621831>
3. <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-ndfl-v-formirovanii-dohodnoy-bazy-byudzheta-rf>

А. А. Будян, студ.; рук. Ю. Н. Харитонова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## НАЛОГ НА САМОЗАНЯТЫХ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ НОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО НАЛОГА В УСЛОВИЯХ САМОИЗОЛЯЦИИ

С 1 января 2019 года в России появился новый налоговый режим — налог на профессиональный доход. По задумке он должен помочь людям легализовать доходы от небольшого бизнеса и подработок. А тем, кто уже оформлен и платит налоги, упростит жизнь и поможет сэкономить.

Ставки налога для самозанятых: 4% — если принимать деньги от физлиц и 6% — если от юрлиц и ИП. Налог на профессиональный доход можно платить только тем, у кого доход не больше 2,4 млн рублей в год. Это примерно 200 тысяч рублей в месяц. [1]

Данный проект является экспериментальным. Его запустили в 2019 году всего в четырех регионах. Первый год эксперимента с самозанятыми оказался настолько успешным, что чиновники решили подключить к нему еще 19 регионов. В 2020 году этот список увеличился. Государство рассчитывает, что данный вид налога будет действовать в течение 10 лет.

**Таблица 1.** Показатели применения налога на самозанятых в четырех регионах РФ [2]

Регион	Тыс. человек	Доход
Москва	37	2,1 млрд руб.
Московская обл.	12,6 (из них 2,4 — в статусе ИП)	Около 1 млрд руб.
Калужская обл.	1,8 (из них 31 человек ИП)	
Татарстан	более 8	

В первую очередь данный спецрежим будет выгоден ИП с небольшими оборотами, работающими в одиночку. Также он выгоден физлицам, которые продают собственную продукцию или оказывают услуги нянь, репетиторов и переживают, что ИФНС обнаружит их доходы.

Самая существенная помощь самозанятым от государства во время пандемии — это субсидии самозанятым в связи с коронавирусом. Субсидия предоставляется в размере налога, уплаченного за 2019 г. А также предоставляется дополнительный налоговый вычет в размере 12 130 руб. при уплате налога за 2020 г. Минусом данного эксперимента для государства во время самоизоляции стал уход в тень многих самозанятых, так как статус самозанятого не позволяет рассчитывать на меры поддержки безработных.

### Литература

1. **ФНС** что такое «налог на профессиональный доход», 2019 год [https://www.nalog.ru/rn91/news/tax\\_doc\\_news/9370241/](https://www.nalog.ru/rn91/news/tax_doc_news/9370241/)
2. **Клерк** Налог для самозанятых: плюсы и минусы, 2019 год <https://www.klerk.ru/buh/articles/484954/>

*Е. Д. Борисенко, студ.; рук. Е. Е. Крыленко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЮДЖЕТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В мировой практике бюджетирование рассматривается как элемент менеджмента, ориентированный на управление коммерческой организацией (в денежных показателях), представляет собой методологию планирования, учета и контроля денежных средств и финансовых результатов [1].

Основная цель бюджетирования заключается в обеспечении производственного и коммерческого процессов необходимыми финансовыми ресурсами. В современных рыночных условиях совершенствование системы финансового планирования организации необходимо для повышения эффективности ее деятельности.

Для того, чтобы успешно внедрить бюджетирование на предприятие, необходимо следующее:

1. разработка и утверждение единых условий, на основании которых будет строиться система бюджетирования;
2. разработка и внедрение управленческих процедур, по которым будет реализована вся система бюджетирования;
3. автоматизация бюджетных процессов.

На примере предприятия ООО «МосСервисСтрой» автором был разработан и внедрен документооборот, используемый в системе бюджетирования, также был определен перечень первичных документов и фактические данные для бухгалтерского (финансового) учета. На все объекты строительства определены затраты, проведена примерная оценка эффективности каждого объекта в отдельности.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку полной, грамотной системы бюджетирования, позволяющей предприятию значительно сократить свои издержки и увеличить прибыль.

### **Литература**

1. Бюджетирование: учебное пособие / Под общ. ред. В. А. Кожина. Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. — 245 с. (Высшее образование).

*Д. Х. Каранфил, студ.;*  
*рук. Ю. Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ НАЛОГА НА ДОБАВЛЕННУЮ СТОИМОСТЬ И ЕГО РОЛЬ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РФ**

Налог на добавленную стоимость является наиболее важным источником финансирования для многих развитых стран. Это косвенный налог, уплачиваемый потребителем. НДС является для федерального бюджета РФ наиболее значимым и стабильным источником доходов: за последнее пятилетие на его долю пришлось около четверти доходов бюджета. Следовательно, исполнение федерального бюджета РФ во многом зависит от полноты поступлений по налогу на добавленную стоимость.

В России НДС был введен законом РСФСР от 06.12.1991 № 1992-1, тем самым отменив действия налога с оборота и налога с продаж. Ставки НДС изменялись неоднократно. На момент введения налога в 1992 году ставка налога составляла 28%. Однако уже в 1993 году она была снижена до 20% (см. табл. 1). [1]

**Таблица 1.** Доходы бюджета РФ, в млрд руб.

	Базовая ставка налога	Льготная ставка налога	Совокупные доходы бюджета	Доходы от НДС	В %, к объему поступлений в ф. б.	
1998 г.	20%	10%	0%	335,5	141,27	42,1
2006 г.	18%			6 278,9	1 510,9	24
2012 г.				12 885,5	3 545,8	27,5
2015 г.				13 659,2	4 233,5	30,9
2019 г.	20%			20 188,8	7 095,2	35,1
2020 г. прогноз				20 379,4	7 492,4	36,7
2021 г. прогноз		21 246,5	7 991,2	37,6		

В результате повышения ставки налога до 20% в 2020–2022 годах федеральный бюджет получит более 2 трлн руб. Увеличение дополнительных поступлений исключительно за счет повышения ставки НДС (более 7%) превысит инфляцию (4% ежегодно) [2].

Тем не менее, по состоянию на сентябрь 2020 года поступления в бюджет от НДС сократились на 23%, а бюджетные расходы увеличились на 18%. Согласно прогнозу, дефицит бюджета в конце года составит 4% ВВП.

### **Литература**

1. Налоговый кодекс РФ // Консультант Плюс. — Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
2. <https://minfin.gov.ru/ru>

А. А. Попова, студ.; рук. И. Е. Ларина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОТ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ К СНИЖЕНИЮ ИЗДЕРЖЕК И РОСТУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

В современных условиях жесткой борьбы за конкурентные преимущества предприятия объективно вынуждены пересматривать существующие методы учета затрат и калькулирования себестоимости продукции, чтобы удержаться на рынке.

Правильная оценка себестоимости продукции — один из рычагов управления прибылью и результативностью бизнеса. Традиционно себестоимость формируется из затрат, напрямую связанных с производством отдельных видов продукции и косвенных слабо управляемых расходов, которые нельзя напрямую включить в себестоимость конкретного вида изделия, в связи с чем управлять ими чрезвычайно сложно.

Современным методом управления бизнесом является представление деятельности предприятия как набор функций и определения их ценности для улучшения качественных параметров производимых продуктов. Использование функционально-стоимостного анализа (ФСА, *Activity Based Costing, ABC*), позволяет оценить реальную стоимость продукта, повысить эффективность производства. [1]

Основным отличием метода ABC от традиционных методов калькулирования себестоимости продукции — это распределение не только прямых, но и косвенных расходов по производимым продуктам в зависимости от объема ресурсов, требуемых на каждом этапе производства. В результате косвенные затраты переходят в категорию переменных, а значит становятся управляемыми.

Алгоритм перерасчета косвенных затрат предполагает предварительное выделение основных видов деятельности организации — функций и идентификацию накладных расходов с выделенными видами. Для каждого вида деятельности определяется собственный носитель затрат, который оценивается в соответствующих единицах измерения и пропорционально которому и производится распределение производственных издержек.

Результатом перехода на ABC будет полноценное исчисление затрат. Внедрение современного метода калькулирования позволит предприятию АО «Невские берега», управлять затратами, определять наиболее рентабельные виды продукции, а увеличивая их объем получать большую прибыль. Преимуществом перехода на метод ABC является ориентированность компании на потребителя и удовлетворение его запроса.

### Литература

1. **Королев Ю. Ю.** Особенности и преимущества использования метода Activity Based Costing / Королев Ю. Ю., Мышковец Ю. А. / Вестник ВГАВТ. — 2018. — № 55.



А. И. Горбоносов студ.; рук. И. С. Бабич, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## УЧЕТ РИСКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ КОМПАНИЙ

Отраслевые риски являются неотъемлемой частью общего риска компании и обычно рассчитываются как премия за отраслевой риск в ставке доходности собственного капитала компании. Ученые, такие как Миллер М. и Тругман Г., подчеркивают важность надлежащего, более объективного, основанного на доказательствах способа учета этих рисков в ставке дисконтирования при оценке стоимости компании. В результате введения отраслевых рисков аналитики, собственники и менеджмент компаний, с одной стороны, и потенциальные инвесторы, с другой стороны, смогут принимать более адекватные операционные, стратегические и инвестиционные решения.

Анализ подходов к оценке рисков компании позволяет выявить их достоинства и недостатки. Предлагаемые подходы условно можно разделить на два направления методов оценки:

- методы качественной оценки;
- методы количественной оценки [1].

В настоящее время все чаще используются качественные, а не количественные методы оценки рисков компании. Это связано, в первую очередь, с простотой методов, а также с отсутствием какой-либо универсальной и более объективной альтернативы. Особенностью этих методов является определение премий за различные виды отраслевых рисков на основе субъективного профессионального мнения.

Основным условием количественных методов оценки является утверждение, что рынки капитала способны полностью или хотя бы частично оценить премию за определенные риски. Чтобы определить эту дополнительную доходность, необходимо проанализировать уровень диверсификации инвестиций на рынке капитала: чем менее диверсифицирован инвестиционный портфель, тем выше уникальный коэффициент риска, отраженный в их ожидаемой доходности [2].

Чтобы инвесторы могли оценить отраслевые риски компаний, Дамодаран А. предложил формулу для оценки премии за риск [1]:

$$R_i = R_f + \beta_i * \text{рын. прем.} + \text{прем. за размер компании} + \text{прем. за отрасль}, \quad (1)$$

где  $R_i$  — ставка доходности;  $R_f$  — безрисковая ставка доходности;  $\beta_i$  — чувствительность к изменению рынка.

### Литература

1. Дамодаран А. Инвестиционная оценка: Инструменты и методы оценки любых активов. М., 2019. 1324 с.
2. Международные рынки капитала — <https://www.pwc.ru/ru/services/audit/capital-markets.html>

*А. А. Будян, студ.; рук. Д. В. Зотова (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ДОГОВОРА КОМИССИИ**

Договор комиссии является довольно распространенной формой посреднических договоров. [1]

По договору комиссии одна сторона (комиссионер) обязуется по поручению другой стороны (комитента) за вознаграждение совершить одну или несколько сделок от своего имени, но за счет комитента.

При заключении договора комиссии могут возникнуть некоторые проблемы в заключении сделки или в сложности учета.

При работе по договору комиссии многие предприниматели стараются сократить объем операций. Выплаты объединяют в единую сумму, а документооборот ограничивается лишь счетом-фактурой. Такое упрощение неизменно ведет к признанию соглашения комиссии обычной куплей-продажей. А также искажаются суммы налога на материально-производственные запасы, что ведет в дальнейшем к сложности расчета себестоимости произведенной продукции.

При совершении сделки по договору комиссии между комиссионером и посредником, частой ошибкой является неверный учет цены бухгалтером комитента.

Бухгалтерские записи должны осуществляться после того, как от комиссионера будут получены документы, в которых отражена цена за товар, по которой фактически произошел расчет с закупщиком. Так, цены комиссионера и цены, указанные в бухгалтерских записях комитента, должны совпадать. [2]

Так же еще одной распространенной ошибкой является то, что комитент принимает к вычету в числе затрат на продажу имущества сумму гонорара комиссионеру без вычета из налогооблагаемой базы НДС, начисленный с этой суммы. НДС из суммы вознаграждения можно принять к вычету после зачета взаимных требований между нанимателем и нанятым посредником или после фактической оплаты его услуг.

В ходе анализа работы АО «Асбестоцемент» было выявлено нарушение в ведении документации. Комитент не сохранил счета-фактуры, полученные им от посредника за счет чего он не сможет в дальнейшем достоверно рассчитать налогооблагаемую базу.

### **Литература**

1. ГК РФ Статья 990. Договор комиссии
2. **Налоги** и бухгалтерия. <https://online-buhuchet.ru/buhgalterskij-uchet-u-komitenta/>

*О. Д. Переведенцев, студ.; А. А. Кислов, студ.;  
рук. И. С. Андрюшина к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ИМУЩЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА КОРПОРАЦИЙ**

В настоящее время применяется концепция, согласно которой успешность деятельности предприятия определяется тем, происходит ли рост его стоимости во времени. Для этого необходима информация о стоимости имущественного комплекса предприятия и постоянного мониторинга этой стоимости во времени. Этот вопрос является актуальным, так как с развитием рыночных отношений существенно возрастает роль оценки с целью ответа на вопрос: обеспечивает ли выбранная стратегия развития предприятия рост стоимости его имущества [2]?

При проведении процесса оценки в оценочной практике используются сравнительный, доходный и затратный подходы. В которых применяются определенные методы, исходя из рыночной конъюнктуры, структуры предприятия и цели оценки. Но стоит отметить несостыковки некоторых терминах. Так федеральные стандарты оценки (ФСО) № 8 отмечают, что к объектам оценки могут быть отнесены «акции, паи в паевых фондах, доли в уставном капитале». Но фонды не относятся к коммерческим организациям, что вносит неопределенность в трактовке этих положений. В ФСО № 8 отмечается, что имущественный комплекс (ИМ) полностью или его часть может служить объектом оценки. Но методология оценки стоимости бизнеса (как правило доходный подход) и ИМ (преимущественно затратный подход) носят различный характер, что опять же вносит неточности в положения этого стандарта [1].

Поэтому необходимо разработать оптимальный инструментарий, который позволит систематизировать все факторы, влияющие на оценку ИМ, и избавиться от вышеуказанных замечаний. По мнению автора необходимо комплексная оценка ИМ корпораций, которая должна состоять из нескольких последующих действий: анализ полезности использования элементов ИМ (с позиции соответствия производственной мощности и производственной программе компании); разработка и принятие решений по увеличению или уменьшению имущественного потенциала; выбор методов решения поставленной задачи; комплексная оценка ИМ; оценка эффективности использования имущественного и производственного потенциала корпорации.

### **Литература**

1. **Приказ Минэкономразвития** России от 01.06.2015 № 326 «Об утверждении Федерального стандарта оценки «Оценка бизнеса (ФСО № 8)».
2. **Федотова М. А.** Оценка стоимости активов и бизнеса: учебник для вузов / В. И. Бусов, О. А. Землянский. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 522 с.

*А. А. Кислов, студ.; О. Д. Переведенцев, студ.;  
рук. И. С. Андрюшина, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ К ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Согласно ФЗ № 135 «Об оценочной деятельности», выделяют следующие подходы и методы к оценке стоимости предприятий электроэнергетической отрасли:



**Рис. 1.** Подходы к оценке бизнеса

При проведении исследования подходов и методов, была выявлена следующая специфика их применения:

Специфика применения методов доходного подхода заключается в том, что приходится оперировать огромным количеством информации. Отсутствие достоверных данных по доходам и расходам компаний затрудняет прогнозирование будущих денежных потоков бизнеса.

Специфика применения затратного подхода состоит в том, что невозможно самостоятельно оценить все активы электроэнергетических компании, в связи с этим приходится брать данные из отчетности. Риск использования данных из отчетностей Российских компаний состоит в том, что отчетность не отражает реальную состояние и стоимость активов.

Специфика применения сравнительного подхода. Применение данных по сделкам с ними не является корректным, поскольку данные цены (котировки) на акции не отражают их реальную рыночную стоимость. Сравнение с компаниями, котирующимися на российском фондовом рынке нецелесообразно из-за его высокой спекулятивности и низкой ликвидности, которая приводит к высокой волатильности акций.

Исходя, из выше сказанного можно сделать вывод о том, что подходы и методы в оценочной деятельности не учитывают множество факторов при оценке данной отрасли. В основном все компании оцениваются сравнительным подходом с использованием мультипликаторов, такая оценка носит очень субъективный характер и не может реально отражать рыночную стоимость на дату оценки.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 29 июля 1998 г. № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в Российской Федерации»

*В. А. Складенко, студ.; рук. В. Б. Супян, д.э.н., проф.  
(ВАВТ Минэкономразвития РФ, Москва)*

## **ПРОБЛЕМЫ УЧАСТИЯ РОССИИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ ПРОДУКЦИИ АТОМНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XXI ВЕКА И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

В настоящее время в связи с мировым трендом на декарбонизацию энергетического сектора, атомная энергетика становится одним из важнейших источников электроэнергии [1]. Интерес к атомным электростанциям у стран-новичков растет, следовательно, повышается и спрос на продукцию атомного энергомашиностроения.

Основным двигателем развития машиностроительного сектора АЭС стало появление машиностроительного дивизиона ГК «Росатом» во главе с АО «Атомэнергомаш» в 2005 г., что способствовало демонополизации отрасли и установлению конкурентных цен. Также была произведена глобальная программа модернизации производственных мощностей, которая привела не только к росту объема и качества выпускаемой продукции, но и к возможности России получить доступ на подавляющее число экспортных рынков (портфель зарубежных заказов ГК «Росатом» составляет 67% от мирового объема сделок по строительству АЭС) [1].

Однако, несмотря на лидирующие позиции госкорпорации, существует ряд сложностей, препятствующих стремительному развитию машиностроительного комплекса АЭС:

1. Локализация зарубежных технологий — ограничение на развитие собственных разработок;
2. Зависимость отрасли от импортных конструкционных материалов и производственного оборудования;
3. Отставание отечественных технологий от уже применяемых конкурентами разработок;
4. Зависимость отрасли от государственного финансирования;
5. Недостаточная развитость Северного морского пути как альтернативы пути через Суэцкий канал при поставке оборудования.

В данном докладе будут рассмотрены причины и предпосылки возникновения таких проблем, а также возможные пути их решения.

### **Литература**

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, Reference Data Series No.1, IAEA, Vienna (2019).

**Секция 30**  
**ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ**  
**Industrial economics**

---

*Председатель секции: к.э.н., доцент Шувалова Дарья Георгиевна*

*Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна*

*М. В. Кахальников, студ.; рук. Е. В. Сухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕХАНИЗМ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЭЦ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНТЕРЕСОВ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ КОМПАНИИ**

Совместное производство тепловой и электрической энергии на базе централизованного теплоснабжения обладает рядом очевидных преимуществ. В связи с устареванием оборудования и ростом цен на энергоресурсы вопрос управления затратами приобретает большую актуальность.

Планирование режимов работы каждой ТЭЦ осуществляется с учетом технических аспектов ее деятельности. Учет экономических особенностей имеет место только при прогнозировании объемов производства энергии и подачи ценовых заявок. Повышение эффективности деятельности ТЭЦ направлено на технические мероприятия, критерием ее экономической эффективности является либо максимум валовой прибыли, либо минимум производственных затрат [1]. Повышение эффективности деятельности генерирующей компании (ГК) связано не только с необходимостью проведения технических мероприятий, но и с рядом экономических и управленческих решений по иным критериям (чистая прибыль). На данный момент отсутствуют исследования, посвященные учету взаимодействия ГК и входящих в ее состав ТЭЦ.

Цель работы заключается в разработке механизма планирования работы ТЭЦ с учетом интересов генерирующей компании. Автором получен новый научный результат, заключающийся в усовершенствовании механизма планирования режима работы ТЭЦ, включающий технические и экономические аспекты ее деятельности, отличающийся адаптацией различий между бухгалтерским и налоговым учетом, позволяющий не только повысить эффективность деятельности ТЭЦ, но и ГК в целом.

Замена оборудования на более эффективное приводит к повышению КПД станции, соответственно, сокращаются затраты на топливо при неизменных объемах производства и цене топлива, однако увеличивает затраты на амортизацию и ремонт.

В предложенном механизме автором за основу берутся технико-экономические показатели работы станции за прошлый год. Далее прогнозируются показатели для выбранного периода планирования, а после проведения модернизации происходит сравнение данных прошлых лет, плана и факта с помощью методов анализа хозяйственной деятельности, а также с помощью проведение корреляционно-регрессионного анализа.

### **Литература**

1. **Сухарева Е. В.** Планирование эффективной работы ТЭЦ // Экономические науки, 2020, № 6, С. 82–86

*Д. С. Лысенкова, студ.; рук. А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «КОНСТАНТА»**

Финансовый анализ деятельности предприятия является эффективным инструментом для управления предприятием и выявления наиболее уязвимых сегментов деятельности.

Объект исследования — одно из ведущих предприятий России по производству режущего инструмента, расходных материалов и запасных частей для мясоперерабатывающего оборудования — АО «Константа».

Финансовый анализ АО «Константа» показал, что значительных трудностей в общей финансовой структуре АО «Константа» не испытывает. Имущество предприятия увеличилось на 7,71 млн руб. (107,63%). Денежных средств у АО «Константа» для расчетов по кредиторской задолженности, требующей немедленного погашения достаточно, то есть предприятие может рассчитаться по долгам в полном объеме и в установленные сроки на настоящий момент времени. Активов будет достаточно для погашения всех обязательств. Почти все показатели платежеспособности в пределах нормы и возросли за год (Таблица 1), что свидетельствует о том, что АО «Константа» является платежеспособным.

**Таблица 1.** Коэффициенты платежеспособности

Показатель	Норматив	2018	2019	Изменение
L1	≥1	5,21	5,68	0,469
L2	≥0,1–0,7	0,51	1,36	0,847
L3	≥0,7–0,8	7,69	6,07	-1,618
L4	≥2	11,39	11,98	0,593
L5	>0	0,36	0,54	0,182
L6	≥0,5	0,98	0,98	0,000
L7	≥0,1	0,91	0,91	0,000

Анализ финансовой устойчивости показал (Таблица 2), что за анализируемый период у предприятия наблюдается абсолютная финансовая устойчивость.

**Таблица 2.** Анализ финансовой устойчивости

Показатель	Норматив	2018	2019	Изменение
U1	≤1,5	0,094	0,095	0,001
U2	>0,1	0,911	0,912	0,001
U3	≥0,4–0,6	0,912	0,913	0,001
U4	≥0,7	10,59	10,60	0,01
U5	<0,8	0,913	0,918	0,005

Анализ ликвидности и платежеспособности показал, что баланс АО «Константа» является ликвидным на 100%.



*Н. В. Столбецова, студ.; рук. Е. Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КОМПАНИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

В настоящее время в условиях неопределенности бизнес стремится стать устойчивым в долгосрочной перспективе, однако мировая тенденция показывает, что удерживать свои рыночные позиции на международном уровне без интеграции своей деятельности с принципами Концепции Устойчивого Развития ООН практически невозможно.

Определить на сколько компания соответствует критериям устойчивого развития можно посредством мониторинга и оценки ее деятельности. На сегодняшний день в отечественном научном сообществе разработано множество авторских методик, которые применяются для различных компаний, однако они не позволяют учесть отраслевую специфику бизнеса, что делает оценку устойчивого развития компаний некорректной.

Для решения данной проблемы авторами предлагается доработать модель оценки устойчивого развития компаний посредством добавления в модель показателей отраслевой специфики бизнеса для оценки компаний нефтегазовой отрасли.

На основе анализа нефтегазовой отрасли России по уровню концентрации авторами было выявлено, что отрасль в настоящий момент находится в стадии зрелости и не является монопольным рынком, но насыщена сильными игроками и двумя лидерами: ПАО НК «Роснефть» и ПАО «Газпром».

Обзор операционной деятельности основных игроков отрасли позволяет сделать вывод, что специфика бизнеса заключается в следующих факторах [1, 2]:

1. Зависимость от изменений ставок НДС;
2. Показатель энергоэффективности;
3. Коэффициент экономии топливно-энергетических ресурсов;
4. Реализация нефти и нефтепродуктов;
5. Зависимость доходов от обменного курса рубля к доллару США.

Добавление выявленных ключевых показателей, характеризующих отраслевую специфику бизнеса, позволит модернизировать модель оценки устойчивого развития компаний для нефтегазовой отрасли. Как следствие, показатель устойчивого развития станет более точным с минимальными погрешностями и сопоставимым в рамках отрасли.

Данная оптимизация позволит усовершенствовать процедуру независимой внешней оценки.

### **Литература**

1. Отчет в области устойчивого развития ПАО НК «Роснефть» за 2019 г.
2. Отчет в области устойчивого развития ПАО «Газпром» за 2019 г.

*А. С. Аникеева, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ АКТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАК АНАЛОГА МИКРОГРИДОВ**

В настоящее время многие промышленные предприятия в России строят собственную генерацию для снижения затрат на электроэнергию и уменьшения рисков, связанных с перебоями в энергоснабжении. Вступает в силу новое Постановление [1], теперь собственная генерация промышленных предприятий сможет интегрироваться в единую энергосеть и функционировать с ней синхронно. Процессы сопровождаются развитием распределенной энергетики как в России, что подтверждается исследованиями ведущих специалистов центра НТИ «Энерджи-нет» [2], так и во всем мире, где уже длительное время на рынках электроэнергии и мощности функционируют микрогриды. Сравнение модели АЭК и микрогридов представлено в таблице 1:

**Таблица 1.** Сравнительная таблица зарубежных микрогридов и АЭК

<b>Показатель сравнения</b>	<b>Микрогрид</b>	<b>АЭК</b>
Работа с централизованной системой	есть	есть
Установленная мощность	н/д	менее 25 МВт
Потребители	Потребители ээ, владеющие энергопринимающими устройствами	Потребители ээ, владеющие энергопринимающими устройствами, кроме населения
Объект по производству ээ	В основном ВИЭ	Любой источник менее 25 мВт
Главная цель создания	Переход на зеленую энергетику	Снижение стоимости производства и передачи электроэнергии
Опыт	Есть	Пилотный проект

В отличие от зарубежных микрогридов, которые создавались в первую очередь для бесперебойного энергоснабжения и уменьшения количества выбросов, АЭК внедряется в России также для достижения других целей. Должны быть получены экономический эффект в виде снижения расходов потребителей на энергоснабжение и общесистемные эффекты от взаимодействия централизованной энергосистемы с растущим множеством управляемых АЭК-ов.

### **Литература**

1. Постановление Правительства РФ от 21.03.2020 N 320.
2. Холкин Д. Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микрогридам // Инфраструктурный центр Энерджи-нет. 2020.

*А. И. Королькова, студ.;  
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК В ЭНЕРГОКОПАНИИ**

Значительное разнообразие организационных структур, которые соответствуют этапам развития энергетических компаний, видам деятельности, а также стилям управления и их направлению в отрасли, не говорит об их эффективности. Лишь крупным компаниям доступна разработка и оптимизация типовых организационных структур.

На любой стадии цепочки управления бизнес-процессами (Б-П) возникают трансакции. Основной причиной увеличения объема трансакционных издержек (ТИ) выступает неэффективное регулирование и управление административно-хозяйственной деятельностью. ТИ в энергокомпании характеризуют процесс контроля и управления и сопровождают каждую функцию бизнеса.

Целью исследования является разработка экономического инструмента управления Б-П на основе минимума ТИ в энергокомпании, что особенно актуально в условиях эволюции инструментов управления, а также опережением теории и практики управления в Мире по сравнению с РФ.

Исходя из того, что ТИ измерить и выявить методически довольно трудоемко, понять какую часть, например, заработной платы составляют они, еще сложнее. Для получения конкурентных преимуществ необходимо дополнительное документальное сопровождение, как инструмент фиксации ТИ при учете затрат, то есть выделения затрат на один договор, на одну сделку, на одни переговоры.

Фактически необходима новая классификация затрат на предприятии, трансформируя те документа, которые уже есть в управленческом учете, чтобы позволить энергокомпании вычленивать стоимость одной трансакции, при этом оценка потенциала экономии позволит улучшить организацию менеджмента, снизить административно-хозяйственные издержки, что особенно актуально при тарифном регулировании. Экономия по некоторым статьям себестоимости может достигать 24%.

Новый экономический инструмент может иметь большую практическую значимость для компаний топливно-энергетического комплекса при решении задач повышения экономичности менеджмента. Предложенные инструменты фиксации и управления Б-П при минимизации ТИ применим только в случае неизменных параметров управляемости компании.

### **Литература**

1. **Рукина Е. И., Шувалова Д. Г.** Влияние величины трансакционных издержек на организационную структуру энергокомпании // *Экономические науки*. 2017. № 12 (157). С. 37.

*К. Д. Козлов, студ.; рук. Е. Ю. Абрамова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДИВЕРСИФИКАЦИИ БАНКОВСКИХ УСЛУГ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА И СТЕЙКХОЛДЕРОВ**

Диверсификация — расширение ассортимента предлагаемых продуктов и переориентация рынков сбыта, освоение новых видов услуг с целью повышения эффективности деятельности, получения экономической выгоды, предотвращения банкротства [1].

Целью исследования является разработка методики и проведение оценки влияния диверсификации банковских услуг на повышение эффективности деятельности Банка и стейкхолдеров.

Актуальность проблемы заключается в оценке Банком рынка банковских услуг, использовании риск-ориентированного подхода с целью предложения наиболее выгодных банковских продуктов (услуг) клиентам.

Одним из путей решения указанной выше проблемы может быть применение методики оценки влияния диверсификации банковских услуг на повышение эффективности деятельности стейкхолдеров. В её основу заложена авторская модель оценки эффективности деятельности стейкхолдеров, сформированная на принципе сбалансированной системы показателей Р. Каплана и Д. Нортона, которая была разработана в начале 90-х гг. XX в. с целью устранения недостатков классических систем показателей [2]. В качестве критериев будут рассмотрены:  $E$  — коэффициент эффективности стейкхолдеров от диверсификации банковских услуг;  $w$  — уровень значимости (вес) стейкхолдера;  $SS$  — степень удовлетворенности стейкхолдера по формуле:  $E = w_1 \cdot SS_1 + w_2 \cdot SS_2 + \dots + w_N \cdot SS_N$

Применение методики позволит вести учет стейкхолдерами критериев оценки Банками эффективности предоставления банковских услуг клиентам, сохранить преимущества и выгодные условия программ лояльности на конкурентном рынке, будет способствовать выстраиванию с клиентами долгосрочных и перспективных отношений. Это важно и является необходимым условием для совершенствования законодательной и нормативно-правовой базы, создающей благоприятную среду для развития и расширения банковского бизнеса, адаптации инноваций и насыщения рынка новыми банковскими услугами и современными технологиями.

### **Литература**

1. **Грибов В. Д., Грузинов В. П., Кузьменко В. А.** Экономика организации (предприятия). «КНОРУС», 2016
2. **Каплан Р. С.** Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. пер. с англ. Р. С. Каплан, Д. П. Нортон. — М., 2005

*С. Б. Моисеев, асп.; рук. А. Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Проведенные нами ранее исследования показали, что в современных условиях, одной из наиболее перспективных, представляется направление исследования проблемы обеспечения конкурентоспособности (КСп) в зрелой отрасли (ЗО) на основе компетентностного подхода [2], а анализ работ исследователей концепции использования центров компетенций (ЦК) показывает, что для реализации задачи обеспечения КСп промышленных предприятий целесообразно использовать направление, связанное с созданием в оргструктуре компаний ЦК, которые направлены на рассмотрение междисциплинарных, проблемно-ориентированных знаний, технологий и процессов, с привлечением специалистов и ученых различных направлений, партнеров, клиентов и другие стейкхолдеров [1].

Рекомендуемые подходы к созданию ЦК заключаются в развитии ресурсов предприятия, анализе и поддержании потенциально эффективных инициатив по управлению и обменом знаниями, обучению, реинжинирингу существующих и созданию новых бизнес-процессов.

Учитывая то, что наличие ключевых компетенций (КлК) предприятия создают основную потребительскую ценность, сделан вывод, что одно из центральных мест в системе управления (СУ) КСп компании ЗО должен занимать механизм управления КСп на базе создания Центра ключевых компетенций (ЦКлК) — подразделения компании, аккумулирующего знания и накопленный опыт функционирования бизнес-процессов, проводящего анализ их соответствия критериям и возможности применения в качестве КлК для сохранения и развития КСп компании, решая такие задачи как обобщение лучшего опыта, разработка стандартов и оргструктур, управление знаниями, интеграция бизнес-процессов и т. п.

На основании анализа бизнес-процессов, оказывающих ключевую роль в создании потребительской ценности, СУ КСп предприятия на основе ЦКлК рассматривается с позиций системного и процессно-ориентированного подходов, что позволит предложить модель использования и организационно-экономический механизм создания ЦКлК промышленного предприятия ЗО.

### **Литература**

1. **Акатов Н. Б., Панарина Е. Н.** Центр компетенций в стратегии развития крупного высокотехнологического предприятия // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2014. № 3. с. 184–186.
2. **Моисеев С. Б.** Анализ факторов устойчивости конкурентных преимуществ на основе ключевых компетенций предприятия электротехнического машиностроения // Вестник университета. — 2020. — № 2. — с. 134–141

*Е. Д. Козлов, студ.; рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ОТРАСЛЕВЫХ РЫНКОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Российская Федерация является одним из главных экспортеров нефти в страны Евросоюза, а также Азии. Несовершенство технологического процесса, а также ряд санкций негативно влияют на динамику развития проектов по добыче и переработке сырья. Работа посвящена изучению отраслевого рынка нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего оборудования на территории РФ, как одного из факторов развития промышленности и повышения стоимости продукции, созданной внутри страны. Цель работы — определить стратегию развития отечественных предприятий — производителей отраслевого оборудования в рамках локализации производства на территории страны.

В результате анализа рынка были рассмотрены девять ведущих отечественных предприятий по производству гидравлического оборудования. Индекс концентрации на рынке данных компаний составил 81,15%. Для измерения степени неравенства размеров фирм, действующих на рынке, используется показатель дисперсии рыночных долей и дисперсию логарифмов рыночных долей. Таким образом показатель дисперсии рыночных долей для данного рынка составил 38,7, а дисперсия логарифмов рыночных долей 0,35. В результате построения кривой Лоренца, индекс Джинни составил 0,623.

В настоящее время машиностроительная отрасль имеет невысокий уровень конкурентоспособности по этим показателям как внутри России, так и на международном рынке. Основной причиной низкой доли экспорта является качество продукции.

Как и у любого крупного производства входные барьеры в отрасли достаточно высоки. К входным барьерам данной отрасли относятся: положительная отдача от масштаба и минимально эффективный выпуск, вертикальная интеграция, дифференциация продукта, иностранная конкуренция, институциональные барьеры [1]. По причине больших систем предпочтений при государственных закупках нефтеперерабатывающего оборудования, предлагается повысить уровень локализации иностранных производителей на территории РФ путем их слияния с отечественными производителями и заимствования технологических процессов у более успешных предприятий.

### **Литература**

1. **Зверев А.И.** Основные черты рынка насосного оборудования в России и тенденции его развития / Зверев А.И. // Российское предпринимательство — 2016 — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-cherty-rynka-nasosnogo-oborudovaniya-v-rossii-i-tendentsii-ego-razvitiya>

К. В. Ламухина, студ.; рук. В. В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ КОММЕРЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «КРАСНОДАРГАЗСТРОЙ»

Для создания наиболее благоприятных условий экономического развития России необходимо развитие предприятий. В настоящее время большинство коммерческих предприятий находится на самофинансировании. Это определяет актуальность всех работ, связанных с разработкой мероприятий по сокращению расходов и затрат предприятий, что положительно сказывается на их финансовом состоянии.

В работе было рассмотрена организация АО «Краснодаргазстрой», занимающаяся прокладкой газопроводных труб по всей России и за ее пределами, делая российский газ доступным для каждого. Данная организация осуществляет строительство инженерных коммуникаций для водоснабжения, водоотведения и газоснабжения.

Проведенный анализ финансового состояния организации [1], во-первых, показал, что для этой организации характерна повышенная себестоимость в сравнении с аналогичными предприятиями, а, во-вторых, позволил выявить слабые стороны финансовой деятельности и основные риски для финансовой устойчивости хозяйствующего субъекта, а также найти резервы для улучшения финансового положения, что позволяет избежать кризиса в компании. По анализу финансового состояния была составлена расчетная модель, результаты которой представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Тип финансовой устойчивости предприятия в 2016–2018 гг.

Модель финансовой устойчивости для периода	2016	2017	2018
Финансовое состояние	Неустойчивое финансовое состояние		

Для улучшения финансового состояния были разработаны ряд рекомендаций. В том числе была рассмотрена возможность реализации мероприятия по вторичной переизоляции труб, что обеспечивает компании экономию текущих эксплуатационных затрат в результате снижения расходов на покупку нового оборудования (через издержки на амортизацию и ремонт), а также за счет снижения тепловых потерь.

Экономическая оценка предлагаемых мероприятий показала, что их реализация позволит улучшить финансовое состояние предприятия.

По итогу работы можно сделать вывод об эффективности реализации предлагаемых для АО «Краснодаргазстрой» мероприятий.

### Литература

1. **Шеремет А. Д.** Комплексный анализ хозяйственной деятельности: учебник / А. Д. Шеремет. — М.: ИНФРА-М, 2016.

*Ю. А. Гринчук, аспирант; Д. Г. Шувалова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ОТРАСЛЕВОГО РЫНКА**

Рост темпов промышленного производства — это важная задача как для экономики в целом, так и для отдельных ее субъектов в частности. Управляемый рост темпов промышленного производства, показывает значение индекса, который описывает результаты отраслевой политики, стимулирование развития регионов и территорий и другие меры вмешательства в отраслевые рынки государством.

По анализу статистических данных промышленное производство в России увеличилось на 2,4% в 2019 году, такую предварительную оценку сообщил Росстат. [1]

При разработке и осуществлении государственной политики необходимо обратить внимание не только на мониторинг отдельных отраслей промышленности, а и отраслевых рынков в целом. Для анализа состояния и динамики развития отраслевых рынков был разработан алгоритм, который структурирует все показатели и включает в себя анализ региона по критерию индекса промышленного производства, анализ концентрации и уровня отраслевых барьеров и разработку мер государственной политики.

Весь алгоритм анализа был апробирован на примере отраслевого рынка цветной металлургии в Дальневосточном федеральном округе, который составляет наибольшую долю в промышленности региона. Индекс цен производителей промышленных товаров оценивается в 102,0%. [1]

По расчетам в 2018 году концентрация снизилась, это можно сказать, если обратить внимание на расчётные коэффициенты. Но, несмотря на снижение, рынок остается высококонцентрированным, так как CR-3 равен 95,89 (2018 г.), что заметно больше порогового значения 70%.

С точки зрения научно-технического прогресса, разработки и усовершенствования технологий в данной области происходят крайне редко, однако существуют специфические барьеры со стороны технологий для выхода на данный рынок, одним из них является эффект масштаба.

Результаты, полученные в ходе разработки и применения алгоритма, безусловно, говорят о возможности и эффективности его применения для комплексного анализа отраслевых рынков и их влияния на индекс промышленного производства. Проведя анализ можно сказать, что политику, которую проводит государство, можно усовершенствовать, чтобы учитывать интересы всех стейкхолдеров. Это должно обеспечить более высокий темп роста промышленности.

### **Литература**

1. Федеральная служба государственной статистики — <http://www.gks.ru>



*С. Р. Кирсанов, студ.; рук. В. В. Бологова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АО ВТЗ**

В настоящее время растёт стоимость энергоресурсов, в т. ч. электроэнергии и сжатого воздуха, что приводит к росту себестоимости продукции, при производстве которых используются эти ресурсы. Учитывая ограниченность финансовых ресурсов предприятия и те ограничения, которые накладывает рынок на возможность повышения цены, актуальность мероприятий по снижению издержек возрастает.

В работе было рассмотрено предприятие АО Волжский трубный завод, который является одним из самых молодых трубных заводов России. Завод производит более 800 типоразмеров сварных и бесшовных труб различного назначения. Разрабатываются новые виды продукции с учетом требований рынка. Однако, исходя из проведенного анализа структуры себестоимости за два последних года (таблица 1) и особенностей технологического процесса, было выявлено, что доля затрат на энергоресурсы около 8%, а качество сжатого воздуха, подаваемого на технологию, неудовлетворительное за счет избыточной влажности, что негативно сказывается на качестве выпускаемой продукции.

**Таблица 1.** Структура производственной себестоимости товарной продукции

Показатель	2019	2020
Производственная себестоимость, всего	100%	100%
Сырье, материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия	70,0%	69,6%
Энергоресурсы	6,6%	8,2%

В работе была рассмотрена возможность модернизации используемой технологии — замена осушителей на кислородно-компрессорном участке (ККУ) энергетического цеха № 2. В результате проведения модернизации ожидается повышение качества сжатого воздуха, что снижает процент брака продукции, и его расхода, а также снижается расход электроэнергии на собственные нужды на ККУ — около 30% [1, 2]. Был определен размер необходимых инвестиций в модернизацию и оценка экономической эффективности проекта. Срок окупаемости составит около 2 лет, при сроке полезного использования 20 лет.

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о целесообразности проведения модернизации на АО ВТЗ.

### **Литература**

1. **Магруппова З. М.** Экономика металлургической отрасли: Учеб. пособие. — Череповец: ЧГУ, 2005. — 101 с.
2. **Пельмская И. С.** Экономика и управление на металлургических предприятиях: учебное пособие / И. С. Пельмская, Н. В. Гончарова; науч. ред. Н. Р. Кельчевская. — 3-е изд., испр. Екатеринбург: Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. — 272 с.

*А. В. Шинкаренко, студ.;*  
*рук. В. В. Бологова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АО «КЗСК»**

В современных условиях самофинансирования и хозрасчета, в ситуации работы на конкурентном рынке актуальным является задача повышения получаемой прибыли за счет мероприятий по организации и управлению текущей и инвестиционной деятельностью [1]. Одной из главных задач каждого предприятия является повышение эффективности производственной деятельности и качества продукции, что возможно в т. ч. за счет применения новых технологий.

В работе было рассмотрено предприятие АО «Конаковский завод стальных конструкций». Данное предприятие изготавливает опоры ЛЭП, строительные металлоконструкции, столбы для освещения, жесткие анкерные линии, а также предоставляет услуги по нанесению защитного слоя цинка на сторонние изделия (горячее оцинкование). С учетом возрастающего спроса на продукцию, а также на услугу горячего оцинкования в настоящее время появилась потребность в увеличении установленной мощности цеха горячего оцинкования. Учитывая ограниченность предприятия в скорости отдачи готовых изделий актуальны мероприятия по модернизации линии оцинкования.

В работе была рассмотрена возможность увеличения установленной мощности за счет модернизации цеха горячего оцинкования, который является последним этапом в технологической цепочке производства собственной продукции, а также предоставления услуг сторонним организациям. Покрытые цинком изделия подвергаются охлаждению в ванне охлаждения с целью снижения температуры и сохранения блеска покрытия. Охлаждение производится путем 1-кратного погружения. Температура воды в ванне охлаждения не должна превышать 80°C. В результате проведения модернизации ожидается повышение объема реализации продукции, как основного производства, на 5–7% так и сторонних заказов на 7–9%. Был проведен анализ необходимости модернизации цеха и оценка экономической эффективности проекта по модернизации. Размер необходимых инвестиций в модернизацию составит около 35 млн руб., срок окупаемости составит около 3 лет, при сроке полезного использования 7 лет.

Проведенные анализ и расчеты показали, что модернизация позволит увеличить прибыль за счет уменьшения сроков изготовления продукции АО «КЗСК», что ведет к большим заказам основного производства, и уменьшения сроков оказания услуг сторонним организациям.

### **Литература**

1. **Бланк И. А.** Финансовая стратегия предприятия. — К: Эльга, 2008.

У. А. Лухманова, студ.; рук. Е. Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ КАК ОСНОВА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Принятие эффективных финансовых управленческих решений невозможно без наличия актуальной информационной базы, в том числе объективных результатов финансового анализа. По результатам финансового анализа можно принимать своевременные мероприятия для поддержания компании на необходимом уровне финансовой устойчивости и платежеспособности. В устойчивом финансовом положении компаний заинтересованы все участники бизнеса: государство, акционеры, персонал, партнеры и т. д. Интерес со стороны государства заключается в поступлении налогов в бюджет, акционеров — своевременная и полная выплата дивидендов. Интересы работников связаны с созданием больших возможностей для материального стимулирования труда.

Метод финансовых коэффициентов позволяет более детально изучить финансовое состояние организации. В практике зарубежных компаний (США, Канада, Великобритания) наибольшее распространение получили следующие три коэффициента [1]:

- коэффициент рентабельности активов;
- коэффициент рентабельности собственного капитала;
- коэффициент рентабельности задействованного капитала.

Однако стоит отметить, что существующие подходы к проведению финансового анализа недостаточно отражают специфику деятельности компаний на конкретном рынке. Отраслевая специфика существенным образом влияет на структуру имущества — долю внеоборотных активов, структуру оборотного капитала, источники финансирования деятельности компаний.

Также большую роль будет играть стадия жизненного цикла компании, вид рынка на котором функционирует компания. Все эти факторы будут влиять на потребность в заемных источниках финансирования, следовательно, оказывать влияние на рентабельность собственного капитала.

Таким образом, при проведении финансового анализа по общепринятым методикам необходимо учитывать отраслевой фактор и проводить корректировку допустимых значений для финансовых коэффициентов.

### **Литература**

1. **Бернштейн Л. Л.** Анализ финансовой отчетности: теория, практика, интерпретация. Пер. с англ. / Л. Л. Бернштейн. — М.: Финансы и статистика, 2013

*Е. В. Губанова, студ.; рук. Д. Г. Шувалова, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИНАНСОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ НА НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ТЭК**

Любое коммерческое предприятие стремится к максимизации прибыли, в связи с этим эффективное управление денежными потоками стало необходимым аспектом при управлении организацией. Финансовое моделирование помогает эффективно осуществлять финансовое планирование.

Финансовая модель — это инструмент, встроенный в программное обеспечение для прогнозирования финансовых показателей бизнеса в будущем. Прогноз обычно основан на статистических показателях результатов деятельности компании, предположениях о будущем и позволяет подготовить прогнозные отчет о финансовых результатах, баланс, отчет о движении денежных средств (известных как модель из трех отчетов). Отсюда можно построить более сложные типы моделей, такие как анализ дисконтированных денежных потоков (модель DCF), выкуп с использованием заемных средств (LBO), слияния и поглощения (M&A) и анализ чувствительности [1].

Нужно отметить, что особенно важно осуществлять финансовое моделирование на тех предприятиях, которые связаны с внедрением и созданием инновационных технологий и продукции. ООО «ЭИТ» — научно-производственное предприятие по разработке инновационных решений для предприятий ТЭК. Производственный цикл построен на основе современной мировой практики по распределению промышленных мощностей в регионах со сложившейся отраслевой специализацией.

Практическая значимость исследования состоит в том, что в ООО «ЭИТ» до сих пор не производится финансовое моделирование. В связи с этим были изучены особенности функционирования компании, ее основные экономические потоки, способы производства и продажи оборудования, отношения с компаниями-поставщиками. В работе была предложена финансовая модель для анализа следующих компонентов: привлечение капитала, приобретение (бизнеса и/или активов), органическое развитие бизнеса, составление бюджета и прогнозирование, оценка бизнеса. Таким образом, потенциально предложенные новшества могут помочь оптимизировать финансовую деятельность ООО «ЭИТ».

### **Литература**

1. **Антонов А. П.** Денежный поток: описание сущности и понятия / Антонов А. П. — Текст научной статьи: Международный научный журнал «Инновационная наука» — 2017. — № 01-1/2017.

*А. А. Попова, студ.; рук. О. А. Лыкова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ТАРИФНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ**

Развитие электросетевого комплекса РФ в соответствии с принятой стратегией [1] нацелено на «обеспечение надежного, качественного и доступного энергоснабжения потребителей путем организации максимально эффективной и соответствующей мировым стандартам сетевой инфраструктуры». При этом, являясь естественно монопольным видом деятельности в электроэнергетике, электросетевой комплекс регулируется государством посредством тарифной политики в соответствии с Федеральным законодательством [2].

В структуре конечных цен (тарифов) электроэнергии для разных групп потребителей доля транспорта электроэнергии составляет от 40 до 60%. С целью обеспечения разумного, оправданного уровня затрат на электрическую энергию для российской экономики, государство регулирует стоимость услуг электрических сетей на всех уровнях напряжения, сдерживая рост тарифов на транспорт электроэнергии, на уровне не выше инфляции.

В данной работе анализируется влияние на тариф на передачу электроэнергии и, в конечном счете, на тарифы для потребителей инвестиционной деятельности сетевых компаний.

В общем случае в тарифной выручке не предусматриваются средства на расширенное воспроизводство. Для реализации инвестиционного проекта с привлечением средств из тарифной выручки сетевой компании необходимо утвердить в установленном порядке в регулирующем органе инвестиционную программу, с обоснованием необходимых затрат для обеспечения качественного предоставления услуг. Инвестиционная привлекательность отрасли через адекватный возврат на инвестированный капитал должна оптимальным образом сочетаться с необходимым уровнем надежности энергосистемы.

В ходе выполнения работы была изучена нормативно-правовая база в области регулирования деятельности электросетевого комплекса и тарифов на передачу электроэнергии, а также проведена оценка экономической эффективности инвестиционного проекта сетевой компании.

### **Литература**

1. Стратегия развития электросетевого комплекса РФ до 2030 года.
2. Федеральный закон «О естественных монополиях» от 17.08.1995 № 147-ФЗ

*А. А. Закревский, студ.; рук. Д. А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В2В В СФЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ**

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в современных российских компаниях формированию системы коммуникаций в сфере В2В не уделяется должного внимания. Как правило, она формируется стихийно, отсюда возникает множество проблем как с коммуникациями в организации, так и со всеми взаимосвязанными с ней процессами. В особенности, качественная маркетинговая стратегия В2В нужна для производственных компаний, чтобы обеспечивать бесперебойный сбыт продукции [2, с.15].

Промышленный (В2В) маркетинг представляет собой бизнес-деятельность не для рядового конечного потребителя, а для корпоративных клиентов, то есть для другого бизнеса (например, реализация комплектующих, капитального оборудования, предоставление услуг, используемых в промышленном производстве). Таким образом, компании на В2В рынке создают для других предприятий инструменты, помогающие тем зарабатывать больше. Маркетинг В2В предполагает продажу более дорогостоящих и менее стандартизированных товаров и услуг [1, с.20].

В результате анализа состояния маркетинговых коммуникаций В2В в сфере производства энергетических котлов рынка было выявлено, что основные проблемы развития маркетинговых коммуникаций на рынке В2В в отрасли котельного оборудования связаны со сложностями экспорта продукции в зарубежные страны. Осложнение отношений с Западом в 2014 году и последующие санкции привели к тому, что компаниям стало сложно добывать запчасти, инструмент и необходимое производственное оборудование. По этой причине затормозилось производство оборудования, а также из-за санкций существенно снизились экспортные поставки из России. По данным за 2019 год импорт энергетических котлов превысил экспорт в 8 раз.

Качественная система маркетинга В2В и ее своевременная модернизация способна помочь предприятиям наладить систему сбыта продукции как на отечественном, там и международном рынке энергетических котлов, что является первоочередной задачей компаний.

### **Литература**

1. **Ильина Е. Л., Латкин А. Н., Бочарова Э. А.** Перспективные тенденции развития В2В маркетинга // Дискуссия. 2017. № 3 (77). С. 19–23.
2. **Салахов И. И.** Тенденции развития В2В бизнеса: новые вызовы // Столыпинский вестник. 2019. № 1. С. 15.

*А. Р. Галимова, Н. И. Баязитова, студенты; В. Э. Зинуров, асп.;  
рук. О. С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ СЕПАРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В работе произведена оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами. Авторами работы было разработано сепарационное устройство, представляющее собой компактный прямоугольный блок, внутри которого располагается несколько рядов сепарационных элементов, позволяющее улавливать мелкодисперсные частицы пыли размером 1–10 мкм [1]. Установка сепарационных устройств в линию подготовки воздушных потоков покрасочных камер перед фильтрами тонкой очистки позволит увеличить их срок службы [2]. Актуальность темы заключается в том, что расчет экономической целесообразности внедрения сепарационных устройств на предприятие является важным процессом, позволяющим предотвратить излишние финансовые затраты предприятия и обеспечить его устойчивое развитие в целом.

Оценка интеграции сепарационных устройств в технологическую линию предприятия осуществлялась на основе следующих показателей: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности и дисконтированный срок окупаемости проекта. Проведенные расчеты показали, что применение технологической линии с интегрированными в нее сепарационными устройствами позволяет экономить в год не менее 24000 руб. При этом окупаемость проекта и индекс доходности составляет 5,88 и 1,39 соответственно.

В ходе расчетов получено, что снижение капитальных вложений в 1,25, 1,5, 2, 3 и 4 раза уменьшает дисконтированный срок окупаемости проекта до 3,93, 3,16, 2,28, 1,47 и 1,08 года соответственно. ЧДД увеличивается в 2,37 и 3,74 раза при уменьшении количества замены фильтров тонкой очистки в год на 37,5 и 50% соответственно.

### **Литература**

1. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Петрова Т.С., Дмитриева О.С.** Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.
2. **Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Ву Линь Нгуен** Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3–9.

*Д. С. Зайцев, студ.;*  
*рук. А. С. Тарасова, к.э.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Рост экономики непосредственно связан с ростом и развитием промышленности. Развитые страны формируют национальные программы для укрепления конкурентных позиций в цифровой экономике, направленные на поиск, разработку и внедрение инновационных технологий, применение которых приводит к повышению производительности труда и эффективности использования ресурсов.

В этом ключе цифровая трансформация приносит новые возможности для повышения производительности и доходности. Фактором сохранения конкурентоспособности является скорость освоения инновационных технологий и их внедрения [1].

Исследование показало, что за последние года произошёл значительный рост интеграции цифровых технологий на промышленных предприятиях (табл. 1).

**Таблица 1.** Интеграция цифровых технологий на предприятиях

<b>Типы технологий</b>	<b>Предприятия, не внедряющие технологии</b>	<b>%</b>	<b>Предприятия, внедряющие технологии</b>	<b>%</b>
Технологии открытого производства		78		22
Аддитивные технологии		76		24
«Зелёные» промышленные технологии		75		25
Интернет вещи		74		26
«Облачные технологии», «граничные технологии»		64		36
Сбор, обработка, анализ больших объёмов данных		64		36
Реализация промышленных товаров через Интернет		63		37
RFID		62		38
Цифровое рабочее место		61		39
Сквозная автоматизация и интеграция		58		42
Робототизация производства		56		44

Анализируя данные можно отметить, что на данный момент производства занимаются решением главной проблемы развития в условиях цифровизации — модернизацией технико-технологической базы, являющейся основным капиталом предприятия, а также необходимостью совершенствования проектных решений.

В рамках исследования предлагается интеграция «мягких вычислений» для анализа и обработки больших объёмов данных, работающих, в отличии от традиционных методов, в условиях неполной информации.

### **Литература**

1. **Асанова С. С., Хмелева Г. Н.** Стратегии импортозамещающих промышленных производств и механизмы их реализации в условиях цифровизации // Экономические отношения. — 2019. — Том 9. — № 3. — С. 1891–1904.



*А. Р. Калякина, студ.; рук. А. Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Инвестиции — основной фактор функционирования и развития региона [1]. Однако, инвесторы при анализе сталкиваются с проблемой субъективизма. В связи с этим, особенно актуальной является эффективная оценка инвестиционной привлекательности на основе доступной статистической информации [2].

Объектом исследования является субъект РФ — Московская область. Предмет исследования — инвестиционная привлекательность Московской области.

Цель исследования — разработка метода оценки инвестиционной привлекательности на основе статистических данных.

Научная новизна исследования заключается в предложении оценки инвестиционной привлекательности региона, представляющей собой систему агрегирования единичных показателей в комплексный интегральный показатель инвестиционной привлекательности.

Данная методика способна облегчить процесс анализа инвестиционного потенциала региона, а также рассмотреть вероятные возможности инвестирования средств в экономику. Метод включает малое число данных, что дает возможность облегченного анализа, но создает широкий охват субъектов инвестиционного потенциала регионов. Методика обладает дефицитом экспертных мнений против 50–70%, используемых в других авторских методах и не предполагает использования весовых коэффициентов значимости, что дает возможность убрать односторонность результата [1].

Практическая значимость заключается в применении усовершенствованной агрегированной модели оценки инвестиционной привлекательности на примере Московской области.

Перспективы использования результатов заключаются в рассмотрении и применении результатов исследования при оценке инвестиционной привлекательности в других регионах.

### **Литература**

1. **Репченко Н. А.** Оценка инвестиционной привлекательности региона с учетом инновационного и бюджетно-финансового потенциала региона // Инновации. 2007. № 7.
2. **Голдобина А. А.** Оценка инвестиционной привлекательности региона как обоснование развития его производственного сектора // Наука. Промышленность. Община: Тр. 19-й Всерос. конф. НГТУ, 2018. Т. 4.

*В. А. Скляренко, студ.; рук. В. Б. Супян, д.э.н., проф.  
(ВАИТ Минэкономразвития РФ, Москва)*

## **ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЭКСПОРТНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОССИЙСКОГО АТОМНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ПЕРВОЙ ТРЕТИ ХХІ ВЕКА**

На сегодняшний день российская атомная машиностроительная отрасль прочно закрепилась на мировой арене, что подтверждается загруженностью производственных мощностей на изготовление экспортной продукции вплоть до 2024 года [1]. Однако такие объемы производства стали характерными для отечественной атомной отрасли лишь последние десять лет, двигателем которой стал ряд успешно проведенных «реформ» в период с 2005 по 2020 года.

В начале 2000-х годов на российском рынке наблюдалась монополия производителей оборудования для АЭС — по одному на каждую номенклатуру. Соответственно, отрасли необходимо было решить две задачи: выстроить единую производственную цепочку и демонополитизировать рынок. Таким образом, наряду с действующими монополистами ПАО «Ижорские заводы», ПАО «Силовые машины» и т.д. на рынке в 2007 году появился машиностроительный дивизион госкорпорации «Росатом» во главе с АО «Атомэнергомаш», где к 2015 г. отрасли удалось достичь существенного роста показателей экономической эффективности:

1. Портфель заказов — с 80 до 400 млрд рублей;
2. Консолидированная выручка — с 20 до 56 млрд рублей;
3. Производительность труда на человека — с 1.92 до 2.94 млн рублей;
4. Доля специалистов до 35 лет — с 19% до 33%.

Таким образом, сегодня производственные мощности атомного машиностроения способны произвести для экспортных площадок до восьми комплектов оборудования ядерной паро-производящей установки и до пяти турбоагрегатов в год.

В данной работе оценивается динамика ежегодного выпуска энергетического оборудования, анализируется влияние программы модернизации на рост качества и объема выпускаемой продукции. Также оцениваются позиции отечественных производственных предприятий оборудования АЭС на мировом рынке, их конкурентоспособность и перспективы дальнейшего развития.

### **Литература**

1. Годовой отчет государственной корпорации «Росатом» за 2019 г.

*Хоанг Т. Т., студ.; рук. Н. М. Ланцова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «МОСЭНЕРГО»**

В современном мире инвестиционная привлекательность организации является жизненным важным условием для стабильного развития предприятия. Высокий коэффициент инвестиционной привлекательности показывает высокое положение предприятия в отношении со своими конкурентами на современном рынке. Инвестиционная привлекательность также интересна инвесторам, кредиторам, которые размещают капитал с целью получения по возможности больше прибыли. Поэтому надежная, всесторонняя оценка инвестиционной привлекательности и пути её повышения являются важной задачей для предприятий, которым необходимо привлекать денежные средства для своей финансово-хозяйственной деятельности [1].

Была проведена оценка инвестиционной привлекательности на примере компании ПАО «Мосэнерго» двумя методами: семифакторный анализ и комплексная оценка. В результате оценки приходили к выводу, что исследуемая компания находится на удовлетворительном уровне, компании необходимо провести ряд мероприятий для повышения инвестиционной привлекательности [2]. С этой целью в данной работе были предложены мероприятия, непосредственно влияющие на уровень инвестиционной привлекательности данного предприятия, такие как: Оптимизация структуры капитала, с целью достижения необходимого уровня финансовых показателей., реорганизация структуры управления, управление инвестиционной привлекательностью акций.

По результатам оценки инвестиционной привлекательности ПАО «Мосэнерго» после внедрения предложенных мероприятий был сделан вывод о повышении уровня инвестиционной привлекательности. Следовательно, предложенные мероприятия являются эффективными и после их внедрения исследуемая компания является инвестиционно-привлекательной, способна эффективно осваивать инвестиционные средства, приносить необходимый уровень дохода инвесторам, кредиторам.

### **Литература**

1. **Ендовицкий Д. А., Бабушкин В. А., Батурина Н. А.** Анализ инвестиционной привлекательности организации: научное издание / под ред. Д. А. Ендовицкого. — М.: КНОРУС, 2015. — 376 с.
2. **Хоанг Т. Т., Ланцова Н. М.** Современные аспекты инвестиционной привлекательности российской компании: проблемы, оценка, пути совершенствования. II Международной научно-практической конференции «Студенческие научные исследования» Пенза, 2020. с. 111–114.

*А. А. Ельцов, студ.; рук. Е. М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Современные методики оценки эффективности инвестиционных проектов основываются на проведении инвестиционного анализа [1]. С учетом необходимости идентификации рисков и определения возможного экономического ущерба, расчет инновационных проектов требует достаточно больших трудовых и временных ресурсов, что в современных быстроменяющихся условиях является не выполнимым. Основываясь на методологии оценки качества проектов по разработке радиоэлектронной продукции, была предложена усовершенствованная методика, позволяющая повысить качество принятия решения о выборе вариантов инновационных проектов для инвестирования.

Предложенная методика включает в себя качественный и вероятностный подходы к оценке эффективности инновационного проекта по разработке радиоэлектронных устройств.

Качественная оценка инновационного проекта позволяет оценить конкурентоспособность нового продукта на рынке [2]. Рассматриваются несущие полезность для потребителя атрибуты продукта, такие как функциональность, надежность, экономичность, технологичность, экологичность, безопасность и стоимость. Осуществляется нормирование и сравнение атрибутов качества разрабатываемых продуктов с конкурентами и эталоном для каждого продукта, и подсчитывается сумма оценок в соответствии с предложенным методом.

Вероятностная оценка инновационного проекта направлена на идентификацию и оценку научно-технологических рисков. Она позволяет получить информацию о вероятности успеха разработки новой радиоэлектронной продукции при текущем уровне знаний технологии предприятия.

Проведенная апробация методики показала, что она позволяет сократить трудозатраты на оценку эффективности инвестиций в разработку продукта с 6-ти до 2-х человеко-недель. Ввиду того, что человеческие ресурсы непрерывно дорожают, применение предложенной методики сможет существенно увеличить конкурентоспособность компании-разработчика радиоэлектронных устройств.

### **Литература**

1. **Винокурова Е. А. Фирцева С. В.** Сравнительная характеристика методов оценки эффективности инвестиционного проекта // Экономические исследования и разработки. — 2018. — №. 12. — С. 39–45.
2. **Назаревич С. А.** Методика оценки инновационности продукции // Фундаментальные исследования. — 2015. — №. 3. — С. 119–123.

*А. С. Паршина, студ.; рук. Е. М. Лисин, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ ВЛАДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ АКТИВАМИ ТЭС**

Основными видами деятельности ТЭС являются производство и оптовая продажа электрической и тепловой энергии. Проведенный анализ финансового состояния ОГК и рынков электрической и тепловой энергии России показал неравномерность развития ТЭС, как по районам расположения станций, так и по годам. Причиной этого является недостаточная эффективность управления производственными активами и отсутствие адекватных моделей оценки состояния основного оборудования ТЭС.

Для решения выше обозначенной задачи требуется разработка модели функционирования ТЭС, позволяющей с помощью методов математического моделирования формализовать взаимосвязанные экономико-технологические процессы производства и реализации энергетической продукции. Данные требования к моделированию могут быть достигнуты путем формирования матричных моделей функционирования ТЭС, позволяющих взаимоувязать и выразить эффективность управления активами через экономические показатели.

Предлагается стоимостные и объемные характеристики энергетической продукции для  $N$  энергоблоков станции описать с помощью линейных алгебраических уравнений «выпуск — затраты — отпуск» и «цена — расходы — добавленная стоимость» на основе балансовой модели Леонтьева [1]. Для компактной записи и решения системы уравнений можно использовать матричный анализ. Таким образом, будут сформированы матрицы для финансовых и материальных ресурсов.

В матричную структуру ТЭС включаются приоритетные группы оборудования энергоблока, которые связаны затратами материальных и финансовых ресурсов каждой группы с другими группами оборудования [2]. Такой подход к формализации и анализу процессов ТЭС формирует основу метода управления активами ТЭС. С использованием матричных представлений расходы финансовых ресурсов и затраты на функционирование производственных активов можно дуально объединить, что позволит моделировать связь и взаимное влияние технологических процессов и финансовой деятельности ТЭС.

### **Литература**

1. **Астафьев Н. Н.** Матричный инструментарий анализа балансовой модели и задачи линейного программирования // Труды Института математики и механики УрО РАН. — 2010. — Т. 16. — №. 3. — С. 3–11.
2. **Lisin E., Okley P., Zielińska A.** Institutional determinants of thermal power sector economic productivity // Journal of Institutional Studies. — 2019. — №. 1. — С. 144–154.

**Секция 31**  
**МЕНЕДЖМЕНТ**  
**Management**

---

*Председатель секции: к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна*

*Секретарь секции: Гулиева Сима Агиль кызы*

*А. Д. Савалов, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ**

В современной жизни на предприятиях всё большее значение приобретает мотивационные аспекты. Мотивация персонала — это основное средство обеспечения оптимального использования человеческих ресурсов, а также мобилизации имеющегося кадрового потенциала. Главная цель процесса мотивации — это получение максимальной отдачи от использования имеющихся трудовых ресурсов, что в конечном итоге должно повысить общую результативность и прибыльность от деятельности предприятия.

На протяжении многих лет такие великие умы, как Фредерик Тейлор, Элтон Мэйо, Абрахам Маслоу, Дуглас Макгрегор, Фредерик Герцберг и другие, разрабатывали различные системы и методы мотивирования персонала.

Проблема мотивации персонала довольно широко рассматривается как в научной, так и в публицистической литературе. Но, к сожалению, попытки приспособить уже существующие классические теории мотивации к современному образу жизни и работы персонала не представляется возможным [1].

В работе был рассмотрен опыт британской компании ООО «Reckitt Benckiser». Проведён анализ, применяемых ею мотивационных программ и были выявлены следующие недостатки в работе с персоналом:

- 1) Невершенная система премирования сотрудников.
- 2) Посредственная система оценки персонала — PDR.
- 3) Отсутствие поддержки руководства в обучении иностранных языков.

На основе проведённого анализа были предложены мероприятия по внедрению программы премирования сотрудников, модернизации системы оценки и развития персонала по методу SMART анализа и было обосновано применение методов обучения, направленных на сотрудников компании иностранным языкам.

### **Литература**

1. **Травин В. В., Дятлов В. А.** Менеджмент персонала предприятия: Учеб.-практ. пособие. — 4-е изд. — М.: Дело, 2002. — 272 с.

*О. С. Емелина, студ.; рук. А. Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

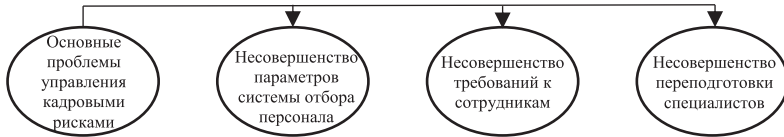
## **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КОМПАНИИ С УЧЕТОМ ЕЕ КАДРОВЫХ РИСКОВ**

Указом президента была утверждена новая доктрина энергетической безопасности Российской Федерации до 2035 года. Одной из задач стратегического планирования, является создание системы управления рисками в области обеспечения энергетической безопасности [1].

Также в настоящее время наблюдается переход к цифровой энергетике, где основным ресурсом становится информация, нематериальные активы компании, являющиеся производными знаний, умений и навыков сотрудников, приходят на смену традиционным источникам конкурентного преимущества в виде сырья и капитала [2].

Таким образом, процесс обеспечение энергетической безопасности смещается в область управления кадровыми рисками, так как определяющим элементом энергетической безопасности современных компаний становится кадровая безопасность.

На рисунке 1 приведены основные проблемы управления энергетической безопасностью компании с учетом ее кадровых рисков в современных условиях:



**Рис. 1.** Основные проблемы управления кадровыми рисками

Таким образом, решение данных проблем с помощью новой модели управления энергетической безопасностью компании с учетом ее кадровых рисков приведет к повышению эффективности деятельности предприятия, уменьшению внутренних взломов, обеспечению благоприятной среды, в которой реализуется трудовой потенциал сотрудников, повышение конкурентоспособности.

### **Литература**

1. Указ Президента РФ от 13.05.2019 N 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации»
2. Ведомственный проект «Цифровая энергетика». <https://minenergo.gov.ru/node/14559>



*К. С. Володина, студ.; рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ФИНАНСОВОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ**

Неотъемлемым условием развития национальной экономики в современной России является непрерывное образование, влияющее как на формирование человеческого, научно-технического потенциала общества, так и на конкурентоспособность страны на мировом рынке товаров и услуг, в том числе и на рынке образовательных услуг. Особая роль знаний как фактора производства обуславливает возрастание роли образования. Прослеживается тесная корреляция между объемами инвестиций в систему знаний (образование, наука, НИОКР, повышение квалификации, информационные сети, программные продукты) и темпами экономического роста.

В этих условиях деятельность вузов приобретает черты предпринимательства.

Отечественный и зарубежный опыт показывают, что до сих пор не выработано четких принципов и методов оценки влияния модели управления финансовыми ресурсами вуза на результативность его образовательной деятельности. В связи с этим, требуется анализ имеющихся, и разработка новой модели управления финансами высших учебных заведений.

Для реализации поставленной задачи необходимо:

- провести анализ современного состояния рынка образовательных услуг, сформулировать особенности управления финансами в бюджетных образовательных учреждениях в России и за рубежом, выявить актуальные проблемы;
- определить основные инструменты и существующие подходы, при формировании финансовой модели управления в вузе;
- определить роль финансовой стратегии вуза в повышении его конкурентоспособности;
- разработать практический инструментарий для формирования и реализации финансовой стратегии;
- выделить основные бизнес-процессы в государственном бюджетном вузе и инструменты их реализации. [1]

Интеграция этих элементов поможет сформировать модель финансового управления вузом, основная цель которой повышение качества, эффективности и конкурентоспособности на рынке образовательных услуг.

### **Литература**

1. **Репин В. В.** Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление // М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017.

*А. А. Офицеров, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ В ОРГАНИЗАЦИИ**

В настоящее время, в условиях активного проведения реформ, действия экономического кризиса и санкционного давления Запада, эффективное управление человеческими ресурсами становится одним из решающих факторов дальнейшего перманентного развития экономики страны.

С одной стороны, в современных условиях содержание труда обогащается, растет значение самоконтроля в результативности трудовой деятельности персонала, повышаются требования сотрудников к вопросам организации труда, используются инновационные технологии управления. Однако, с другой стороны, экономико-социальная ситуация в стране в последнее время характеризуется значительным повышением социальной напряженности, что неизбежно ведет к возникновению конфликтов в рабочих коллективах подавляющего числа организаций [1].

Диалектика конфликта определяется тем, что он сигнализирует об определенных трудностях в отношениях в трудовом коллективе, существующих разногласиях. В тоже время наличие значительного количества точек зрения, баланс разногласий, позволяет выделить слабое звено, болевую точку в производственно-личностных отношениях внутри организации.

В рамках исследования предложены мероприятия, которые позволят повысить эффективность управления конфликтами в организации. Предварительный краткий анализ предприятия и анализ источников показал, что к числу мероприятий по совершенствованию управления конфликтами в условиях предприятия можно рекомендовать следующие:

- оптимизация системы мотивации персонала;
- совершенствование системы карьерного роста;
- повышение эффективности работы с кадровым резервом предприятия;
- совершенствование процесса деловой оценки персонала;
- формирование стабильной системы обучения персонала.

Эти мероприятия будут способствовать формированию деловой обстановки и обеспечению позитивного морально-психологического климата в коллективе. Предлагаемые рекомендации позволят повысить эффективность использования персонала повысить уровень открытости в управлении персоналом и повысить прибыльность предприятия.

### **Литература**

1. Баннова М. А. Управление конфликтами в организации.

*Р. А. Рогачев, асс.; И. Ч. Чартаев, студ.;  
рук. Е. С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕХАНИЗМ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)**

Оценка конкурентоспособности регионов, как правило, производится на базе анализа системы показателей, отображающих состояние исследуемого объекта. Данная система показателей, является сложной, многокомпонентной и взаимозависимой, что значительно затрудняет возможность выделения влияния на регион конкретного фактора. Как следствие, возникает необходимость комплексного подхода к исследованию структуры, перечня и взаимозависимости данных факторов, их научного и экономического обоснования и анализа. Как подтверждает зарубежная практика, только системный анализ позволит максимально полно использовать региональный конкурентный потенциал и достичь высокого уровня жизни населения.

Научным противоречием является отсутствие универсального механизма формирования и оценки конкурентоспособности региона не только с учетом его геологической, климатической и социо-культурной особенностей, но и с позиции развития региональной экономической политики, увеличения числа предприятий и улучшения условий ведения бизнеса.

В работе исследуется механизм оценки конкурентоспособности с внедрением критерия участия Чеченской Республики в федеральных и региональных

государственных программах, направленных на комплексное развитие республики, а также системы внепрограммных мероприятий и инвестиционных проектов. Полученная конкурентная позиция Чеченской Республики в сравнении с другими субъектами РФ представлена на рисунке 1.

Результаты исследования могут быть полезны не только для разработки стратегии развития Чеченской Республики, но и в качестве алгоритма оценки и выявления конкурентных преимуществ любого региона РФ.



**Рис. 1.** Конкурентная позиция Чеченской Республики в сравнении с другими субъектами РФ

### **Литература**

1. **Чурсин А. А.** Теоретические основы управления конкурентоспособностью. — М.: Спектр, 2018. — 524 с.

*И. Ч. Чартаев, студ.; Е. С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ РФ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

В настоящее время социально-экономическое развитие России во многом сдерживается нарастающим числом ограничений при эксплуатации транспортных сетей. Основные из них — исчерпание пропускной способности и высокая степень износа значительной части автомобильных дорог, отставание в развитии магистралей в составе международных транспортных коридоров и недостаточное развитие дорожной сети в Сибири и на Дальнем Востоке.

В последнее десятилетие правительство все большее внимание уделяет финансированию автодорожного строительства. Это объясняется неудовлетворительным состоянием транспортных сетей РФ по сравнению с показателями развитых стран. Существующая сеть автомобильных дорог в стране не справляется со значительно возросшим количеством личного автотранспорта и большегрузных автомобилей, в силу слабой пропускной способности и низкого качества технологического покрытия.

Решение проблемы совершенствования дорог РФ требует комплексного подхода и решения целого ряда задач. С этой целью принята Национальная программа модернизации и развития автомобильных дорог РФ до 2025 года, рассматриваемая в работе. В реализации этой программы также должны принимать участие различные представители транспортных предприятий. Она включает в себя значительный перечень программных проектов и мероприятий, среди которых, в наибольшей степени, следует отметить строительство и реконструкцию искусственных сооружений дорожной инфраструктуры, в основном мостов.

Реализация государственной программы возможна только с учетом привлечения бизнеса не только с точки зрения долевого финансирования, но и инновационного-технологического участия.

В работе рассмотрены возможности и риски использования государственно-частного партнерства в качестве инструмента модернизации и развития транспортных сетей РФ, а также фактора повышения конкурентоспособности экономики субъекта федерации.

Результаты исследования могут быть полезны в рамках федеральной политики реализации государственной программы, а также в качестве мотивации частного бизнеса.

### **Литература**

1. Национальная программа модернизации и развития, автомобильных дорог РФ до 2025 года разработана в соответствии с Перечнем поручений Президента Российской Федерации от 8 ноября 2003 г. № Пр-2030ГС.

*Е. И. Антипова, студ.;  
рук. Е. В. Суворова к.э.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

В сегодняшние дни оптимизация системы управления человеческим ресурсом определяется значительным ростом интереса к прикладной реализации результативных технологий в работе с персоналом, в частности, процедур и методик оценки результатов труда сотрудников.

Давид Рикардо продолжил работу Смита в вопросе результативности труда, представил теорию распределения стоимости продукции равноценной количеству труда, затраченного на его создание [1].

Актуальность настоящего исследования и его практическая значимость заключается в том, что в современных условиях роль оценки человеческого потенциала любой компании значительно возрастает. Таким образом, в настоящем исследовании вопросов оценки результативности сотрудников было определено, что формирование резерва персонала в его развитие является одной из основных функций управления персоналом.

На основании результатов анализа результативности труда разрабатываются рекомендации по ее повышению, определяются наиболее рациональные методы, пути дальнейшего развития предприятия [2]. Практически невозможно осуществить руководство сотрудниками ни по одному из направлений HR-работы, не выполняя при этом оценку требуемых деловых и личностных, а также профессиональных качеств сотрудников на основе оценки результатов труда.

Современная проблематика применения системы оценки результативности состоит в том, что в настоящее время в практике организаций отсутствует четкая унифицированная система применения тех или иных систем и методов для оценки кадров. В связи с этим можно сделать заключение о том, что применяемые системы в деловой оценке кадров должны в первую очередь базироваться на целях, которые необходимо достичь в ходе оценочной процедуры.

### **Литература**

1. **Базаров Т. Ю.** Управление персоналом: практическое пособие — М: Проспект, 2016. 371.
2. **Аверин А. Н.** Управление персоналом, кадровая и социальная политика в организации. Учебное пособие — 2-е изд. — М: РАГС, 2016. 274 с.

*Ю. А. Банных, студ.; рук. Е. С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТИЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КИНОТЕАТРА АО «СИНЕМА ПАРК»**

Каждому элементу структуры корпоративного имиджа, формирующему образ организации, присущ корпоративный (фирменный) стиль. Понятие корпоративный стиль обозначает набор постоянных элементов (словесных, графических, цветовых и др.), которые, действуя в совокупности, обеспечивают визуальное и смысловое единство товаров (услуг) фирмы, всей исходящей от нее информации, ее внутреннего и внешнего дизайна. Firmenный стиль создает коллективный идентичный интерфейс, направляющий и объединяющий людей. При этом компания имеет цель достичь такого уровня конкурентоспособности, который помогал бы ей выживать на достаточно долговременном временном отрезке.

Фирменный стиль организации уменьшает затраты и сроки на разработку маркетинговых коммуникаций, упрощает их подготовку, сплачивает сотрудников, повышает корпоративный дух, порождает «фирменный патриотизм», хорошо отражается на визуальной среде компании и эстетическом восприятии её продукции (привлекательная, качественная, красивая, узнаваемая). Таким образом, основополагающим элементом, который помогает любой организации налаживать работу с клиентами, является её фирменный стиль.

Самым доступным способом является создание фирменного стиля в онлайн-сервисах. По сравнению с другими вариантами, в данном случае компания сама руководит процессом, может приостановить его в любой момент и вернуться к созданию в удобное время. Есть возможность производить редактирование в любой момент процедуры. Сам процесс занимает немного времени и цена услуг таких сервисов не выше услуг обычного дизайнера.

Разработка фирменного стиля во всех его проявлениях в сочетании с высоким качеством производимой продукции создаёт великолепный имидж фирмы, продвигая её на рынке, и таким образом, способствуя постоянному повышению интереса к выпускаемым ею продуктам.

### **Литература**

1. **Андреев С. Н.** Фирменный стиль в современном маркетинге / **С. Н. Андреев** // Маркетинг и маркетинговые исследования. — 2019. — № 8. — 224 с.
2. **Векслер А. Ф.** Связи с общественностью для бизнеса. — Нижний Новгород: PR-Эксперт, 2018. — 194 с.

*Э. Р. Бархатова, студ.; рук. М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «КОЛЕР РУС»)**

В каждой современной компании основные управленческие решения в отношении материальных запасов касаются определения сроков и количества заказов и влияют на стоимость закупаемых товаров, величину затрат, связанных с оформлением заказов, величину расходов, на хранение запасов и размер ущерба, возможного отсутствия запасов. [2] Поскольку условия работы предприятий могут быть разными, целесообразно выбирать наиболее подходящий способ пополнения запасов. Основной вопрос — это определение момента и объема следующего заказа для поддержания необходимого уровня запаса. Это может быть система с фиксированным размером запаса или с фиксированным интервалом времени между поставками.

Система управления запасами представляет собой совокупность правил и показателей, которые определяют момент времени и объем закупки продукции для пополнения запасов. [1]

В рассматриваемой мной компании ООО «Колер Рус» был изучен процесс управления складскими запасами клиентами и был выявлен ряд проблем, который мешает качественному управлению запасами влекущий за собой потерю прибыли.

В компании не было нет целостного понимания системы управления запасами, прописанных взаимосвязей логистических и иных функций соответствующих отделов на предприятии. Так же с клиентом ООО «Леруа Мерлен Восток» применялась система с фиксированным размером заказа. Главный минус данной системы для компании — размер заказа, который был строго зафиксирован и не меняется ни при каких условиях работы системы.

Внедрив систему с фиксированным интервалом времени произошло улучшение системы управления запасами, стало более эффективное использование запасов, в результате которых повысились как экономические, так и финансовые показатели компании.

### **Литература**

1. **Александров О. А.** Логистика: Учеб. пособие / О. А. Александров — М.: ИНФРА-М, 2018. 216 с.
2. **Дыбская В. В.** Логистика. Учебник. В 2 частях. Часть 1 / В. В. Дыбская. — М.: Юрайт, 2016. — 318 с.

*И. П. Васильев, студ.;  
рук. А. Г. Бадалова д.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ**

Услуга — деятельность предпринимателя при непосредственном контакте с потребителем услуги.

Потребитель — гражданин, который намеревается заказать или купить, или который заказывает, покупает или использует товары (работы, услуги) исключительно для личных (бытовых) нужд.

Как отрасль экономики, потребительские услуги включают коммерческие и некоммерческие организации различных правовых форм и индивидуальных предпринимателей, которые специализируются на предоставлении бытовых услуг населению.

Потребительское обслуживание — одна из наиболее социально значимых разновидностей экономики современного российского общества, предоставляющая населению муниципальных образований более 700 различных видов услуг.

При организации обслуживания населения следует учитывать особенности оказания бытовых услуг: зависимость качества и своевременности оказываемой услуги от уровня квалификации, опыта работы исполнителей; услуга потребителю оказывается исполнителем непосредственно без посредника-продавца; услуга имеет индивидуальный характер ее оказания и потребления; услуга характеризуется непостоянством качества; услуга характеризуется таким свойством как неосязаемость, т. е. она может быть и не связана с конкретным товаром, его материальным видом.

Предложения по улучшению бытового обслуживания: рабочее время должно быть «согласовано» с рабочим днем большинства населения региона; необходимо создать централизованную службу, которая могла бы координировать деятельность предприятий бытового обслуживания для оказания услуг незащищенным людям на дому; высокая стоимость услуг, может найти решение, следуя законам экономики: «Снижение цен через систему скидок увеличивает спрос!»; рассчитать местонахождение дополнительных потребительских услуг. Это решит проблему недостаточного количества компаний.

### **Литература**

1. **Зотов В. Б.** Система муниципального управления: учебник для вузов. СПб.: Лидер, 2017
2. **В. А. Ильина.** Сфера услуг в городе: проблемы и перспективы, 2015



*А. С. Волков, студ.;  
рук. В. Н. Колесник, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОГИСТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ТОВАРНЫМИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ОБИ»**

Логистическая система — сложная, многоаспектная структура со своими целями. Цель использования логистики считается достигнутой, если выполняется условие «шести правил»: нужный товар нужного качества в нужном количестве своевременно доставлен в нужное место с минимальными издержками.

Локальные задачи логистики оптимизируют оперативные действия подразделений производства и сбыта. К этой группе относятся: создание минимальных запасов; максимальное сокращение времени хранения продукции в запасах; сокращение времени перевозок продукции и другие частные задачи. Центральной задачей интегрированной логистики является координация всех передвижений запасов, добавляющих им дополнительную стоимость. [1]

Товарные запасы представляют собой запасы готовой продукции у предприятий-изготовителей, а также запасы на пути следования товара от поставщика к потребителю, т. е. на предприятиях оптовой, мелкооптовой розничной торговли, в заготовительных организациях и запасы в пути.

Товарные запасы — часть ресурсного потенциала и значительная часть активов торгового предприятия. Для непрерывного процесса обращения товаров необходимо, чтобы часть ресурсов постоянно находилась в состоянии товарного запаса. Товарные запасы влияют на результаты деятельности любой организации, обеспечивая ее устойчивое функционирование в конкурентной среде. [2]

В рассматриваемой мной компании ООО «ОБИ» были изучены процессы управления товарными запасами, ассортимент и номенклатура реализуемых компаний товаров, а также организационно-управленческая структура предприятия. Были выявлены проблемы, связанные с дефицитом и излишками товаров.

Для повышения эффективности системы управления товарными запасами в ООО «ОБИ» была предложена многономенклатурная модель с независимыми поставками продукции, ограничением на площадь склада и расчетом затрат на хранение через стоимость аренды, позволяющая снизить затраты на закупку и высвободить часть оборотных средств.

### **Литература**

1. **Калькова Н. Н., Костенко Д. В.** Методические основы оценки эффективности управления товарными запасами на предприятии. 2017.2.
2. **Григорян Р. А.** Положительные и отрицательные последствия наличия товарных запасов на предприятии. Научные исследования. М.: Издательский дом «Эскимо» 2017.

*Н. Ю. Воробьев, студ.; рук. М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ГРУППА КРОКУС»)**

В каждой компании, которая имеет свою логистическую систему и склад требуется четко выстроенная система поставок и налаженная логистика склада. Невозможна правильная работа склада без правильно выстроенной системы, нам на помощь приходят системы с различными вариациями видов и форм поставок, которые могут упростить работу склада.

Системы поставок существуют разные, к примеру с фиксированным размером заказа или с фиксированным интервалом заказа, с помощью них можно оптимизировать работу склада.

В рассматриваемой мной компании ООО «Группа Крокус» я изучил процесс поставок на склад, был выявлен ряд проблем, из-за которых была нарушена правильная работа склада и поставок, влекущая за собой потери прибыли.

Затоваривание склада, уменьшение запасов, увеличение затрат на хранение, все эти факторы неизбежны без правильного функционирования систем поставок на склад.

Была предложена система с фиксированным размером заказа исходя анализа данных, строения склада и особенностей компании. Мы предложили новый алгоритм проектирования склада исходя их недостатков старого, выяснили оптимальный размер заказа на предприятии за 3 года и посчитали экономический эффект от авторских предложений. Мы производили расчет оптимального размер заказа, применили систему с фиксированным размером заказа.

### **Литература**

1. **Б. А. Аникин**, Логистика производства: теория и практика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. А. Волочиенко, Р. В. Серышев; отв. ред. Б. А. Аникин. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 454 с.
2. **А. А. Бочкарев**, Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для СПО / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 150 с.
3. **А. А. Бочкарев**, Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: 2019. — 477 с.

*С. А. Гайдуков, студ.; рук. А. Г. Бадалова д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ**

В современном многополярном и развитом мире экономическое развитие государства не менее важно, чем развитие мощи военной.

Развитая экономика — это прежде всего развитые финансовые рынки, защита интересов инвесторов и вовлеченность граждан в экономические процессы.

От того, как рынок регулируется со стороны государства, и насколько деликатно это делается — зависит экономическое развитие государства в целом.

Финансовые рынки — это лицо экономики государства.

Чем сложнее с течением времени становилась структура финансового рынка, тем в большей степени регулирования со стороны государства он нуждался [1].

Нормативно-правовая база регулирования финансовых рынков — это фундамент, на котором он стоит. Его не всегда видно, но всегда ощущается, что он есть под ногами.

В условиях быстроменяющихся и растущих финансовых рынков других стран, не совершенствовать государственное регулирование финансовых рынков — это значит проигрывать в конкурентоспособности экономики.

Анализ зарубежного опыта на примере США показывает, что если рынок регулируется слишком слабо, если отсутствуют государственные гарантии и поддержка населения (система страхования вкладов) — это может привести к панике, долгосрочным финансовым кризисам и другим проблемам.

В настоящий момент государство акцентирует внимание на важности развития финансовых технологий, доступности финансовой системы для населения и всеобщем повышении финансовой грамотности. Главная цель — всестороннее развитие экономики и повышение качества уровня жизни за счет развития финансового рынка [2].

### **Литература**

1. **Блохина Т. К.** Мировые финансовые рынки: Учебник / Т. К. Блохина: Изд-во Проспект, 2019. — 160 с.
2. **Банк России.** Основные направления развития финансового рынка РФ на период 2019–2021 годов [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://cbr.ru/content/document/file/71220/main\\_directions.pdf](https://cbr.ru/content/document/file/71220/main_directions.pdf) (дата обращения: 15.04.2020).

*В. В. Галкина, студентка;  
рук. В. А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Логистическая информационная система (ЛИС) представляет собой гибкую, интерактивную структуру, в состав которой помимо самого производственного объекта входят обслуживающие его сотрудники, программное обеспечение, разнообразные справочники, средства вычислительной техники (СВТ), интерфейсы и технологии, объединенные связанной информацией, применяемой в управленческом процессе компании, чтобы планировать, контролировать, анализировать и регулировать работу логистической системы.

Основа развития современной информационной логистической системы состоит в наибольшем приближении сотрудников управления к исполнению их главной функции — принимать решения. Это подразумевает, что сотрудники управления должны быть полностью освобождены от рутинной в виде подготовительной обработки данных, а также получить доступ ко всему имеющемуся инструментарию для принятия решений. Исходя из предназначения информационной системы компании, формулируются ее ключевые задачи: обеспечивать четкость интегрированного исполнения управленческой функции на производстве, а также позволять принимать интегрированное решение по управлению производственным процессом с учетом важнейших внутренних и внешних факторов [1].

Проблемы эффективного функционирования документооборота связана с затраченным временем на обработку информации, ее хранением и передачей между сотрудниками и потребителями.

Экономический эффект от функционирования информационной логистической системы достигается в результате рациональной организации документооборота, которая предусматривает своевременное предоставление информации, опережая материальный поток и создание единой информационной системы, имеющей прямой доступ для сотрудников [2].

### **Литература**

1. **Л. А. Вдовенко**, Информационная система предприятия (Вузовский учебник), Москва, «ИНФРА-М», 2016 г. — 118 стр.
2. **Г. Г. Левкин, Н. Б. Куршакова**, Контроллинг логистических систем, Москва, «Юрайт», 2017 г. — 162 стр.

*А. А. Ефремова, студ.;*  
*рук. В. Н. Колесник, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ИЦТ КАРГО»)**

Логистика определяется частью процесса управления цепочками поставок, занимающаяся хранением и организацией эффективного и результативного потока товаров, услуг и сопутствующей информации от места происхождения к месту потребления и обратно в целях удовлетворения спроса. Логистика включает прогнозирование спроса, планирование запасов, хранение и доставку товаров [1]. Оптимально организованная логистика предполагает наличие тесного взаимодействия между всеми видами деятельности, при котором потребитель логистических услуг удовлетворен обслуживанием, а затраты компании минимальны. Для достижения оптимизации, необходимо всевозможные решения и действия в области логистики, которые в свою очередь влияют на качество обслуживания и общие затраты. Одной из крупных статей расходов является транспортная логистика, так как обеспечивает перемещение товарных запасов из исходных пунктов цепочки поставок в ее конечные пункты или места потребления.

Транспортная логистика — вид деятельности, который отвечает за наличие товара в нужном месте в нужное время в рамках входящей и исходящей логистики.

Транспортная логистика осуществляет свою деятельность с помощью транспортной системы, которая состоит из: технических и организационных компонентов, а также персонала, обеспечивающего функционирование всей системы [2].

В рассматриваемой мной компании ООО «ИЦТ Карго», был изучен процесс организации логистической деятельности транспортно — экспедиторской компании. Были выявлены проблемы, которые мешают эффективной организации логистической деятельности.

Для повышения эффективности организации логистической деятельности в транспортно — экспедиторской компании ООО «ИЦТ Карго» было принято решение о внедрение новой системы отслеживания с дополнительной услугой электронного документооборота, а так же внедрение новой услуги по перевозке сборных грузов.

### **Литература**

1. **Голдсби Т. Д.** Грузоперевозки: руководство для профессионалов / Т. Д. Голдсби, Дипак Айенгар, Шэшанк Р. О. — М.: Эксмо, 2018. — 336 с.;
2. **Афонин А. М.** Транспортная логистика: организация перевозки грузов: Учебное пособие / А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев, А. М. Петрова. — М.: Форум, 2017. — 332 с.

*В. В. Исаева, студ.; рук. М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК (НА ПРИМЕРЕ ПАО «ЛУКОЙЛ»)**

Чтобы сохранить конкурентоспособность и усилить свои преимущества, современным организациям бизнеса необходимо оптимизировать все процессы создания стоимости в цепи поставок — от поставки сырья до послепродажного обслуживания конечного потребителя. Для решения этих задач руководство многих передовых компаний все чаще обращается к SCM (Supply Chain Management) — решениям [1].

SCM — это процесс планирования, исполнения и контроля (с целью снижения затрат и полного удовлетворения клиента) материального потока (поток материальных ресурсов, незавершенного производства, готовой продукции), а также связанных с ним информационного, сервисного и финансового потоков от точки их зарождения до точки конечного потребления» [2].

В рассматриваемой мной компании ПАО «ЛУКОЙЛ» был изучен процесс управления цепями поставок нефтехимической продукции и был выявлен ряд проблем, который мешает эффективному процессу работы, приводит к потере качества продукции, имиджа компании, и, как следствие, влечет за собой потерю прибыли.

Компанией ПАО «ЛУКОЙЛ» для реализации нефтехимической продукции выбрана стратегия работы с Потребителями-Переработчиками через посредников — Дистрибьюторов (расширенный тип цепочки поставок). В таком случае возникает необходимость делиться наценкой с Дистрибьютором, теряется качественная обратная связь с потребителями, происходят недопоставки, отмены договоров и проблемы с транспортировкой и хранением по причине ненадлежащего исполнения Дистрибьютором своих обязательств.

Отказ от услуг Дистрибьютора, частичное изменение организационной структуры Компании, создание Рабочей-Группы, внедрение нового IT-продукта — всё это позволит повысить эффективность взаимодействия с Потребителями-Переработчиками, снизить затраты на страхование и разрешение претензионных случаев, повысить имидж Компании, а также сократить затраты на 9,6% ежегодно для обеспечения поставок нефтехимической продукции в рассматриваемом регионе.

### **Литература**

1. **Аникин Б. А.** Логистика и управление поставок. Теория и практика. Управление цепями поставок: учебник / под ред. Б. А. Аникина и Т. А. Родкиной. — Москва: Проспект, 2017. — 344 с.
2. **Крылатков П. П.** Управление цепью поставок (SCM) / П. П. Крылатков, М. А. Прилуцкая. — Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2018. — 140 с.

*В. Д. Киреев, студ.; рук. М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОМПАНИИ ООО «АВС-ЭЛЕКТРО»**

В современных условиях компании осуществляют свою деятельность в динамичной среде, в рамках которой происходят быстрые и постоянные изменения спроса, технологий и концепций ведения бизнеса. Данные изменения непосредственно влияют на формирование характеристик, определяющих конкурентоспособность компаний. Можно с уверенностью утверждать, что залогом успешного функционирования любой компании является эффективно построенная система товародвижения материального потока и способность этой системы к гибкому реагированию на изменение внешней среды [1]. Обеспечить гибкую и эффективную систему движения материального потока возможно по средствам эффективно построенной системы оперативного управления.

Суть оперативного управления в логистических системах заключается в реализации стратегических и тактических задач компании, которые должны строго исполняться и регулярно контролироваться на всех этапах движения материального потока. Достижение целей должно быть экономически обоснованным [2].

В рассматриваемой компании ООО «АВС-электро» проанализирована действующая система оперативного управления материальными потоками на всех этапах. В результате анализа были выявлены проблемы в отделе снабжения на оперативном и стратегическом уровнях управления, и в отделе транспортной логистики. Данные проблемы были связаны с нерациональным использованием ресурсов и, как следствие, замедлением движения материальных потоков и оборачиваемости оборотных средств компании.

Автором разработаны рекомендации по совершенствованию системы оперативного управления и предложена модель движения материального потока в компании ООО «АВС-электро». Внедрение модели позволяло повысить эффективность ресурсов компании, снизить транспортные издержки и увеличить скорость оборачиваемости оборотных средств и, как следствие, увеличить прибыльность в прогнозном периоде.

### **Литература**

1. **Дыбская В. В.** Интеграция и оптимизация бизнес процессов в цепях поставок: Учебник для МВА — М.: Эксмо, 2017. — 940 с.
2. **Г. Г. Левкин.** Контроллинг и управление логистическими рисками — М.: М-Берлин: Директ-Медиа, 2018. — 140 с.

*В. Д. Королева, студ.; рук. М. А. Киселева ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Кадровая политика является составной частью всей управленческой деятельности и производственной политики организации. Именно кадровая политика имеет целью создать сплоченную, ответственную, высокоразвитую и высокопроизводительную рабочую силу.

Научные принципы организации производства, оптимальные системы и процедуры играют, конечно же, важную роль, но реализация всех возможностей, заложенных в новых методах управления, зависит уже от конкретных людей, от их знаний, компетентности, квалификации, дисциплины, мотивации, способности решать проблемы и восприимчивости к обучению.

Проанализировав кадровую политику ООО «Salamander» и результаты анкетирования можно отметить следующее:

- недостаточно развита система материального стимулирования, о чем свидетельствует результат анкетирования;
- недостатком деятельности кадровой службы ООО «Salamander» является увеличение коэффициента текучести сотрудников из-за плохого социально-психологического климата и слабой мотивации сотрудников;
- недостаточно сформирована система обучения и повышения квалификации сотрудников.

Следовательно, основными направлениями совершенствования кадровой политики ООО «Salamander» могут быть:

- 1) разработка и совершенствование системы обучения персонала;
- 2) совершенствование политики премирования сотрудников и системы мотивации персонала;
- 3) улучшение психологического климата внутри коллектива предприятия и снижения конфликтов за счет командообразующих мероприятий.

Так как эффект от предложенных мероприятий положителен и составляет 0,2 года, то проект можно считать экономически целесообразным.

Руководство предприятия должно понимать, что именно кадровый потенциал — это основные ресурсы компании, формирующие его прибыль. Крайне важно следить за развитием профессионализма персонала в соответствии с новыми тенденциями. Это позволит сформировать в дальнейшем качественную клиентскую базу.

### **Литература**

1. **Антропов В. А.** Современные проблемы управления персоналом предприятия. — М.: Вершина, 2016.



*Е. В. Ксенофонтова, студ.; рук. ст. преп. Е. В. Суворова (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ И ЕЕ ОПТИМИЗАЦИЯ (НА ПРИМЕРЕ «ФЦ АТЛЕТИКА»)**

Управление — это процесс преобразования информации о состоянии системы и среды в целевые действия, которые переводят систему из текущего состояния в желаемое.

Особое место в управлении предприятием занимает управление работниками, поэтому персонал предприятия является основным ресурсом, движущей силой производственного процесса, интеллектуальной составляющей активов предприятия. Это люди, которые являются источником творчества, инициативы, энергии для достижения целей, стоящих перед компанией [1].

В результате проделанной работы, были выявленные следующие слабые места в системе управления персоналом в ФЦ «Атлетика»:

- отсутствие необходимых условий для осуществления карьерного роста работниками компании;
- неудовлетворительный размер заработной платы у молодых специалистов;
- несовершенство организационной культуры предприятия;
- отсутствие работающих инструментов мотивации труда.

В целях совершенствования управления ФЦ «Атлетика» необходимо устранить все негативные стороны управления путем реализации следующих мероприятий.

1. Проведение психологического тестирования сотрудников при приеме на работу и при расстановке кадров. Данное мероприятие позволит снизить конфликтные ситуации и сформировать благоприятный психологический климат в коллективе.
2. Использование в ФЦ «Атлетика» системы самообразования и дистанционного обучения. Данное мероприятие направлено на повышение квалификации персонала.
3. Повышение квалификации сотрудников. Данное мероприятие будет способствовать повышению знаний и профессиональных умений.

### **Литература**

1. **Базаров Т. Ю.** Управление персоналом: учебное пособие для студ. сред. проф. учеб. заведений / Т. Ю. Базаров. М.: Издательский центр «Академия», 2018. 224 с.
2. **Зарубина Е. В.** Управление персоналом и управление человеческими ресурсами в современных российских организациях // Аграрное образование и наука, 2018. № 4. С. 29.

*Д. Д. Куксова, студ.; рук. В. Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ НА ПРИМЕРЕ ООО «ЛИКС ИНВЕСТРОЙ»**

Современная логистика отвечает за управление материальными, информационными и людскими потоками с целью их оптимизации (минимизации затрат). В настоящее время, в связи с увеличивающимся ростом производства и, соответственно, большим увеличением номенклатуры производимых товаров, расширением сети оптовой и розничной торговли, ее постоянной модернизации, созданием складов, серьезно выросла роль логистики, которая определяется как управление товарными потоками. [1]

Правильная организация логистической операции, начиная от закупки сырья, материалов, комплектующих, до поставки клиенту уже готовой продукции, даёт возможность иметь значительную экономию оборотных средств организации, и является важным инструментом в управлении производственно-коммерческой деятельностью компании. [2]

В рассматриваемой мной компании ООО «ЛИКС Инвестрой» был изучен процесс складирования товаров и материалов и были выявлены проблемы, связанные с вопросами автоматизации и информатизации работы склада.

Для повышения эффективности работы склада предприятия ООО «ЛИКС Инвестрой» было принято решение внедрить информационную систему WMS-класса, которая позволит устранить влияние человеческого фактора, автоматизировать работу склада, повысить его эффективность.

Благодаря внедрению информационной системы процесс передачи заказа будет осуществляться быстрее, учет товаров на складе будет более точным и детальным. Имея достоверную информацию о наличии товара на складе, можно в кратчайшие сроки сформировать заказ, что позволит сократить срок доставки товара конечному покупателю. За счет этого конкурентного преимущества компания сможет увеличить свои рынки сбыта.

### **Литература**

1. **Багаевский А. В.** Основы логистики / А. В. Багаевский. — М.: Олимп — Бизнес, 2017. — 640 с.
2. **Гутман Г. В.** Управление конкурентоспособностью / Г. В. Гутман. — М.: Дрофа, 2017. — 83 с.

*А. А. Курьянова, студ., М. А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЯ И ПУТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ВИКТОРИ»)**

Актуальность темы объясняется необходимостью изучения кадрового потенциала предприятия, так как именно кадры являются наиболее сложным и перспективным, потенциально неисчерпаемым ресурсом предприятия, в решающей степени определяющим насколько эффективно используются средства производства и насколько успешно работает предприятие в целом.

Кадровый потенциал — это общая (количественная и качественная) характеристика персонала как одного из видов ресурсов, связанная с выполнением положенных на него функций и достижением целей перспективного развития предприятия.

Был проведен анализ эффективности использования кадрового потенциала ООО «Виктори» с помощью численности и структуры персонала, инновационной и творческой активности, квалификационного уровня, затрат на персонал и уровня компетентности персонала. Основываясь на показателях, можно выделить следующие недостатки: не проходят стажировку специалисты у партнеров в Америке; не замотивирован персонал на повышение квалификации каждый год; высокий показатель текучести кадров; у большинства руководителей отсутствует высшее образование магистратура.

Принимая во внимание приведенные результаты экономического анализа, можно предложить следующие рекомендации, способствующие повышению кадрового потенциала ООО «Виктори».

1. Стажировка специалистов у партнеров в Америке
2. Проведение обучения в офисе компании для сотрудников.
3. Посещение руководителей компании семинаров и тренингов
4. Повышение уровня образования управленческого персонала до магистратуры.

Рассчитан экономический эффект от снижения текучести персонала с 8% до 6% составит 725450,4 тыс. руб.,

Далее был рассчитан экономический эффект от внедрения мероприятий, в результате чего было выяснено, что он является положительным в ООО «Виктори».

### **Литература**

1. **Вукович Г.Г.** Совершенствование кадровой политики предприятия как основа эффективного кадрового менеджмента / Г.Г. Вукович. — М: Вестник Алтайской академии экономики и права, 2015. — 412 с.

*П. А. Минашкин, студ.;*  
*рук. В. А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ЛОГИСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ЛЕРУА МЕРЛЕН»)**

Транспортная логистика — это искусство проведения груза через транспортные процедуры, выбора транспортного средства, минимизация расходов, разработки документации и комплектования груза. Другими словами, транспортная логистика позволяет разработать оптимальные транспортные схемы перевозки грузов, экономия ваши деньги.

Среди задач и целей транспортной логистики можно отметить обеспечение технологического и экономического характера. Технологическое единство достигается путем использования единой технологии транспортировки. Экономическое единство — это построение тарифной системы по результатам исследования конъюнктуры рынка. Техническое единство подразумевает согласованность всех характеристик транспортной системы, как в межвидовом резерве, так и внутри отдельных видов. Основным принципом логистики является сведение расходов к минимуму. На транспорте экономии можно добиться за счет дальности и масштабов перевозки груза. Экономия финансов за счет дальности перевозимого расстояния достигается тем, что при увеличении маршрута уменьшается стоимость использования транспорта при расчете на единицу расстояния. [1]

Транспортная логистика позволяет минимизировать товарные запасы, а в ряде случаев вообще отказаться от их использования. Кроме того, транспортная логистика позволяет существенно сократить время доставки товаров, ускоряет процесс получения информации, повышает уровень сервиса. [2]

В рассматриваемой мной компании ООО «Леруа Мерлен», был изучен процесс транспортировки грузов и были выявлены проблемы, которые мешают оперативному управлению перевозок грузов на основе принципов логистического управления.

Для оперативного управления транспортной логистической системой в деятельности предприятия было принято решение о внедрении GPS/GSM систем слежения на автотранспорте, которые позволят сократить расходы на ГСМ в среднем до 25%, затраты окупятся уже в первый год.

### **Литература**

1. **Марков А. М.** Транспортная логистика / А. М. Марков. — М.: Академия, 2016. — 303 с.
2. **Абрютина М. С., Грачев А. В.** Логистика / М. С. Абрютина, А. В. Грачев. — М.: ДИС, 2016. — 256 с.

*М. А. Орлов, студ.; рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ И РАЗВИТИЕ КУЛЬТУРНО-СПОРТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА**

Одной из областей социальной жизни человека является физическая культура и спорт, которая выражает отличительную часть нематериального производства. Что позволяет применить понятие «управление» к физической культуре и спорту. Цель управления в физической культуре и спорте есть желаемое, возможное и необходимое состояние физкультурно-спортивной организации (отрасли), которое должно быть достигнуто. [1]

Принципы управления в физической культуре и спорте представляют собой основные правила, положения и нормы поведения, которыми руководствуются органы управления и отдельные руководители в процессе осуществления управленческого воздействия. [1]

Культурно-спортивный потенциал представляет собой сложное социально-культурное явление, которое несет в себе не только развитие индивида в физическом плане, но и выполняет другие потребности общественного сознания: социальная потребность в области политики, морали, воспитания и эстетики. Как правило, культурно-спортивный потенциал формируется годами. Стабильная работа органов местного самоуправления и России в целом определяет его состояние на сегодняшний день.

Таким образом, управление физической культурой и спортом представляет собой систему конкретных форм и методов сознательной деятельности, направленной на обеспечение эффективного функционирования и развития отрасли физической культуры и спорта в целях наиболее полного удовлетворения людей в физическом совершенствовании.

### **Литература**

1. **Замятина М. Р.** Проблемы и перспективы развития физической культуры в России [Текст] // Инновационные педагогические технологии: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2015 г.). — Казань: Бук, 2015.
2. **Кудинова В. А., Сибгатулина Ф. Р., Федорова Ф. Р., Кудинов А. А.** Эффективность как стратегическое направление развития физической культуры и спорта в современной России // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. — 2018.

*П. М. Осипов, студ.; рук. В. А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (НА ПРИМЕРЕ ООО «СКИФ-КАРГО»)**

Логистика в целом ориентирована на клиента. Его целью является своевременная доставка продукции с минимальными затратами на хранение, производство, упаковку, маркетинг, транспортировку, что значительно улучшает функционирование всей экономики. Основная цель логистики реализуется путем решения широкого спектра задач: глобальных, общих, частных. Логистика объединяет такие сферы экономической деятельности, как логистика снабжения, производства, маркетинга, транспорта и другие.

С точки зрения специализации и кооперирования производства, изучение транспорта нельзя ограничивать сферой отдельных материально-технических связей. Он должен рассматриваться во всей системе материально-технического снабжения — от первичного поставщика до конечного потребителя, включая промежуточные этапы.

Транспортная логистика — это подсистема, результатом деятельности которой является перемещение объектов из одной точки пространства в другую в разумные сроки с минимальными затратами. [1]

Транспортная логистика осуществляет свою деятельность с помощью транспортной системы, которая состоит из: технических и организационных компонентов, а также персонала, обеспечивающего функционирование всей системы. [2]

В рассматриваемой мной компании ООО «Скиф-Карго», был изучен процесс транспортировки грузов на предприятии и были выявлены проблемы, которые мешают эффективной перевозке грузов автомобильными транспортными средствами.

Для повышения эффективности работы транспортной системы предприятия было принято решение подключения программы мониторинга, которая позволит отслеживать передвижение и состояние автомобилей, а также снизить риск халатности со стороны водителей, особенно в дальних маршрутах.

### **Литература**

1. **Афонин А. М.** Транспортная логистика: организация перевозки грузов: Учебное пособие / А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев, А. М. Петрова. — М.: Форум, 2017. — 336 с.
2. **Левкин Г. Г.** Логистика: теория и практика: учебник и практикум для СПО / Г. Г. Левкин. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 187 с.

*К. С. Рыжова, студ.; Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ООО «ДОМСТРОЙ»**

Система оплаты труда всегда актуальна, создаются новые методы и формы оплаты труда, потому что для качественной деятельности организации необходимо стимулировать сотрудников.

В ООО «ДомСтрой» были выявлены следующие проблемы:

- 1) Повременная форма оплаты труда всего персонала.
- 2) Отсутствие премий, а также иных видов денежного стимулирования персонала.

В результате этого было предложено следующее мероприятие: внедрить на предприятии ООО «ДомСтрой» систему КРІ.

Система КРІ — это применение повышающих и понижающих коэффициентов при формировании заработной платы сотрудников.

Благодаря данной системе каждый сотрудник нацелен на увеличение прибыли предприятия, уменьшение затрат и улучшение качества своей работы.

В расчёте для сотрудников административно-управленческого аппарата была установлена цель 100% выполнение плана по поставленным задачам для каждой должности. Были разработаны коэффициенты для расчёта суммы премиальных надбавок в зависимости от отклонения от установленного плана (100%).

В результате проделанных расчётов было выявлено, что все сотрудники получат расчётную премию и, следовательно, они будут замотивированы на улучшение своих персональных показателей в будущем.

Сам проект потребовал приобретение программного обеспечения и покупку нового оборудования и оргтехники, а также привлечение кадровых единиц (руководитель проекта, проект менеджер и программист). Сумма инвестиций для реализации проекта составила 796 тысяч рублей.

Срок окупаемости проекта составил 1 год, но согласно дисконтированному сроку окупаемости проект начнет окупать себя уже через 5 месяцев.

### **Литература**

1. **Баткаева И. А., Митрофанова Е. А.** Управление персоналом. Теория и практика. Организация оплаты труда персонала. — М.: ПРОСПЕКТ, 2015. — 64 с.
2. **Клочков А. К.** КРІ и мотивация персонала. Полный сборник практических инструментов — М.: ЭКСМО, 2015. — 103 с.
3. **Нацентова Е. Е.** Система оплаты труда работников в рыночной среде // Российское предпринимательство. 2017. № 4. вып. 1. С. 90–95.

*В. В. Смирнова, студ.; рук. М. А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ КОМПАНИИ**

Современные рыночные отношения диктуют организациям необходимость разработки и внедрения системы ценностей, называемой. Грамотно разработанная и реализованная корпоративная культура способствует повышению конкурентоспособности организации. [1, с. 149].

Под корпоративной культурой понимается совокупность определенных взглядов, моделей убеждения, правил, которые осознанно или неосознанно сформировались в организации и были приняты большинством сотрудников. [2, с. 46]

Проведен анализ корпоративной культуры компании по методике Даниэля Дэнисона «Модель оценки корпоративной культуры», в которой был проведен опрос из 60 вопросов с оценкой по 5 бальной шкале и выявлен средний бал и среднее значение в процентах по каждому из параметров. В качестве недостатков корпоративной культуры было выявлено: неспособность компании быстро реагировать на изменения, недостатки проведения обучения, компания не декларирует ясный и последовательный набор ценностей.

Для изменения корпоративной культуры ООО «ОРИФЛЭЙМ КОСМЕТИКС» предлагается следующие рекомендации: введение новых критериев целевого подбора персонала, вовлечение сотрудников, партнеров и клиентов компании в обсуждение атрибутов корпоративной культуры, внедрение смешанной системы обучения.

Экономический эффект за вычетом затрат на введение новых критериев целевого подбора персонала, основанного на соответствии корпоративным ценностям, привлечение и удержание более ценных специалистов составит 302,3 тыс. рублей, а переведя сотрудников на обучение с помощью мобильного приложения SkillCup, компания получит экономию в 218 тыс. рублей. Итоговый эффект с учетом дополнительных затрат в 18 и 45 тыс. руб. составит 457,3 тыс. рублей.

### **Литература**

1. **Попова М. А.** Корпоративная культура как важнейший фактор успеха современной организации // Научно-практические исследования. 2017. № 7 (7). С. 148–150.
2. **Соломанидина Т. О.** Организационная культура компании: учеб. пособие. — М.: ООО «Журнал «Управление персоналом», 2018. — 456 с.



*Е. В. Соболев, студ.; рук. М. В. Патуроев к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН**

Обращения граждан — это направление письменных и устных жалоб, заявлений и предложений граждан в государственные органы.

Работа с обращениями граждан — важное направление деятельности государственных органов, направленное на обеспечение охраны и защиты прав и свобод граждан.

Правовой основой обращений граждан в органы государственной власти является Конституция Российской Федерации [2].

Существует несколько видов обращений, они делятся по форме (устные, письменные), числу заявителей (индивидуальные, коллективные) и содержанию (предложение, жалоба, заявление), данные виды отражены в законе ФЗ РФ № 59-ФЗ от 2 мая 2006 года.

Институт обращений граждан — наиважнейшая часть правового статуса гражданина Российской Федерации.

Функции института обращения граждан: правозащитная функция (обращения являются одним из средств защиты прав граждан), информационная функция (обращения граждан являются ценнейшим источником сведений для государства), коммуникационная функция (обращения граждан служат средством коммуникации между государством и гражданами) [1].

Принципы института обращений граждан: принципы, характерные для любой деятельности органов власти (законность, регламентация действий, учет интересов, компетенция), принципы, выражающие специфику института обращений граждан (всеобщее право, свобода направления, обязательность принятия, полное исследование, своевременное решение, ответственность)

Существует ряд критериев эффективности в работе с обращениями граждан: нормативно-правовое обеспечение работы с обращениями граждан, контроль за соблюдением сроков и порядка рассмотрения обращений, регистрация и учет обращений, рассмотрение обращений, прием граждан должностным лицом, хранение обращений.

Если соблюдать вышеперечисленные критерии в самой работе с обращениями граждан можно повысить уровень эффективности работы.

### **Литература**

1. **Кабашов С. Ю.** Организация работы с обращениями граждан в истории России: учебное пособие, 2016;
2. **Щеголев К. А.** Кто есть кто в России. Исполнительная власть, 2017.

*Д. А. Сорокин, студ.;*  
*рук. О. В. Колесникова к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

На сегодняшний день развитие в экономике рыночных отношений вынуждает своих игроков разрабатывать сильную маркетинговую стратегию, которая даёт преимущества для функционирования предприятия в современных условиях [1].

Маркетинговая стратегия — это способ воздействия на потребителя путём удовлетворения его потребностей с помощью проведения ряда маркетинговых мероприятий. Она разрабатывается с целью получения конкурентного преимущества на рынке, а также поиск новых клиентов, увеличение объема продаж [1].

Хорошо продуманная стратегия позволит предприятию: значительно расширить клиентскую базу и увеличить объем продаж; повысить конкурентоспособность продукции/услуг; наладить регулярный механизм модификации существующих и разработки новых продуктов; создать инструмент массового привлечения клиентов; выработать эффективную ценовую и продуктовую политику; создать механизм контроля маркетинговых мероприятий; повысить качество обслуживания клиентов [2].

Разработка маркетинговой стратегии предприятия подразумевает под собой набор целевых установок, которые имеют значение для всей организации. Для достижения наибольшей эффективности будут определяться направление деятельности маркетинговой стратегии, которые в свою очередь имеют строго прописанную цель и пути её достижения.

Таким образом, Разработка маркетинговой стратегии компании является, несомненно, очень важной, но и достаточно сложной задачей. Выполнение данной задачи может быть организовано в виде отдельного проекта или входить в состав проекта по разработке стратегического плана компании.

### **Литература**

1. **Аакер Д. А.** Маркетинговые исследования: учеб. Пособие / Д. А. Аакер, В. Улар. — СПб.; Питер, 2018. — 256 с.
2. **Альтшуллер И. П.** Стратегия и маркетинг: две стороны одной медали, или просто — о сложном / И. П. Альтшуллер, — М.: Дело, 2017. — 234 с.

*Е. М. Стерлигова, студ.; рук. М. А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

На сегодняшний день кадровая политика является мощным инструментом для обеспечения конкурентоспособности и развития предприятия. К огромному сожалению, ни одно предприятие не укомплектовано кадрами полностью, в среднем на 70%. На предприятии происходят частые изменения, из-за нестабильности экономики, кадровая политика должна контролировать ситуацию и моделировать необходимые изменения в организации.

Хорошей кадровой политикой можно назвать общую кадровую стратегию, объединяющую различные аспекты политики организации в отношении персонала и планы использования рабочей силы. Реализация целей и задач управления персоналом осуществляется непосредственно через кадровую политику. Она должна повышать способность организации адаптироваться к изменению технологий и требований рынка, которые можно предвидеть в будущем. Эффективность управления персоналом увеличивается за счёт активной разработки новых методик и подходов, внедрения западного опыта и его удачной адаптации к особенностям отечественных предприятий различной специализации. Проведённое исследование кадровой политики Арбитражного суда Московской области позволило выделить два недостатка:

1. Неблагоприятный психологический климат;
2. Слабо развита политика развития персонала.  
Рекомендации для решения выделенных проблем:
  - 1) Создание социально-психологической политики. Для обеспечения благоприятного социально-психологического климата и в связи со спецификой работы предлагаю внедрить в штат психолога.
  - 2) Политику развития персонала можно модернизировать с помощью создания политики подготовки и переподготовки персонала (профессиональное обучение).  
Экономический эффект от внедрения мероприятий:
    - 1) Введение должности штатного психолога:
      1. Проводится расчёт среднегодовых затрат на новичка;
      2. Тогда, эффект от снижения текучести кадров после введения должности штатного психолога;
      3. Экономический эффект от введения должности штатного психолога.
    - 2) Создание политики подготовки и переподготовки персонала (профессиональное обучение):

### **Литература**

1. **Архипова Н. И.** Управление персоналом организации. Краткий курс для бакалавров / Н. И. Архипова, О. Л. Седова. — М.: Проспект, 2016. — 224 с.

*Я. И. Хакимова, студ.; рук. А. Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В ОРГАНАХ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ**

Процессы развития местного самоуправления обусловили необходимость решения принципиально новых задач органами местного самоуправления. Изменения в содержании задач, функций, принципов и проблем местных органов представительной и исполнительной власти привели к значительному усложнению и расширению деятельности муниципальных служащих. В этих условиях возникает необходимость создания эффективной системы формирования и развития кадрового потенциала органов власти местного самоуправления. Требуется поиск новых инструментов, методов оценки кандидатов на муниципальную службу, мотивации работников, определения уровня квалификации кадров и т. п.

Изучение качественных характеристик кадрового потенциала муниципальной службы, поиск путей его совершенствования имеют принципиально важное значение. Эффективность работы муниципальной службы связана с организацией профессиональной деятельности, качественным обучением и переподготовкой, повышением квалификации кадров и научно-методическим обеспечением их функционирования.

Рассмотрение значения «кадровый потенциал» определяет его как потенциал определенной группы работников и специалистов, который может быть представлен в рамках профессиональной деятельности в соответствии с официальными обязательствами и целями на одном из стадий его развития. «Кадровый потенциал» в органах местного самоуправления определяет не только все навыки и возможности существующих сотрудников, но и потенциал резерва персонала. [2]

Продуктивность местного самоуправления по большей части обуславливается развитием кадрового потенциала, умением решать проблемы муниципального управления в динамичных и меняющихся условиях реформирования системы местного самоуправления. [1] Следовательно, подготовка компетентных сотрудников муниципальной службы и оптимизация управления их развитием, по-видимому, являются основополагающим условием успешного осуществления реформы местного самоуправления и решения проблем местного характера.

### **Литература**

1. **Гришук В. А.** Государственная и муниципальная служба: учеб. пособие / В. А. Гришук. — 2-е изд., перераб. и доп. — Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. — 327 с.
2. **Знаменский Д. Ю.** Государственная и муниципальная служба / Д. Ю. Знаменский. — М.: Издательский центр «Интермедия», 2017. — 180 с.

*Д. И. Макаров, студ.; рук. В. Н. Колесник, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ СКЛАДИРОВАНИЕМ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК (НА ПРИМЕРЕ ООО «МОБИЛ БУКС»)**

Логистика в современном мире и управление цепями поставок существенно преобразовали подходы к регулированию существующих проблем и решению задач в складировании. Значительно сменился общий взгляд на выполнение целей, которые стоят перед логистикой складирования. Прежде всего, логистика представляет собой — часть процессов, протекающих в цепи поставок.

Управление складированием в цепях поставок в научном понятии изучает ресурсы промышленных, логистических и торговых предприятий, а также принимаемые людьми решения в отношении процессов взаимодействия внутри организации, для трансформации и использования этих ресурсов на всей протяженности цепи поставок. [1]

Процесс складирования в цепи поставок, это перемещение материальных потоков в логистической цепи, которое невозможно без концентрации в определенных местах необходимых запасов, для хранения которых предназначены соответствующие склады

Склад относят к сложным и трудоемким системам. На складах функционируют различные структуры, благодаря которым ряд функций по модификации материальных потоков и выполнению операции хранения, переработке, распределения грузов значительно упрощается. [2]

В рассматриваемой мной компании ООО «Мобил Букс», была проанализирована система управления складированием в действующей цепи поставок и были выявлены проблемы, которые мешают эффективному управлению складированием.

Для повышения эффективности работы складской системы компании было принято решение арендовать дополнительный склад на территории Московской области, который позволит увеличить интенсивность работы склада, сократить логистические издержки и разработать методы дополнительного заработка.

### **Литература**

1. **Мерфи Пол Р.** Современная логистика, 8-е изд.: Пер. с англ. / Пол Р. Мерфи, Дональд Ф. Вуд — М.: ООО И. Д. Вильямс, 2017. — 720 с.: ил. — Парал. тит. англ.
2. **Курганов В. М.** Логистика. Транспорт и склад в цепи поставок товаров / В. М. Курганов. — М.: Книжный мир, 2017. — 432 с.

*М. С. Земскова, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОТИВАЦИЕЙ РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Мотивация персонала в значительной степени определяет, как непосредственно успех деятельности организации, так и развитие экономики в стране, уровень благосостояния людей, что предопределяет актуальность и важность проблем мотивации.

Важнейшим фактором улучшения деятельности организации является совершенствование мотивации труда сотрудников. Управление персоналом состоит из большого количества составляющих, таких как взаимоотношения в коллективе, социально-психологические аспекты, кадровая политика и др. Одним из основных аспектов является мотивация работников, а также рост творческой инициативы и повышение производительности труда.

Мотивация труда — это стремление работника удовлетворить потребности (получить определенные блага) посредством трудовой деятельности. [2]

Цель мотивации — это разработка и реализация системы факторов, побуждающих индивида к трудовой деятельности, ориентированной на получение цели с наивысшим эффектом и отдачей. [1]

Понимая то, что направляет человека и побуждает его к деятельности, какие мотивы находятся в основе его поступков, можно создать эффективно действующую систему мотивации персонала, а также формы и методы управления человеческим капиталом. Для оптимального управления сотрудниками необходимо знать, как у персонала проявляются различные мотивы, какие способы стимулирования персонала позволят реализовать мотивы персонала разных категорий.

Исследование процессов мотивации в нашей стране показывает, что существующие на российских предприятиях системы мотивации и стимулирования персонала неэффективны. Поэтому необходимо перенимать опыт в данной области из практики мотивации персонала в зарубежных компаниях, прежде всего в американских, западноевропейских и японских.

### **Литература**

1. **Маренков Н. Л., Косаренко Н. Н.** Управление персоналом организации: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. — М.: Академический проект; Трикта, 2016. — 464 с. ISBN: 5-8291-0334-6, 5-902358-41-8
2. **Шапиро С. А.** Основы трудовой мотивации: учебное пособие / 2-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2015. — 256 с.

*Н. С. Иваченкова, студ.;  
рук. В. А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ АО «НПП «ДЕЛЬТА»)**

В связи с очень активным развитием информационных технологий стало возможно использовать новые способы обработки и оперативной передачи информации в логистических системах, но их количество не дает полной автоматизации и не дает возможность оперативно управлять информационной системой и закупочной деятельностью, для оптимизации производственного процесса.

Логистическая информационная система — это система, основанная на связи, содержащая элементы структуры, в которую входят сотрудники, оборудование и технологии, которые взаимосвязаны информационным потоком, для контроля, регулирования, планирования и анализа работоспособности логистической системы [1].

Абсолютно каждая логистическая система складывается из общности элементов-звеньев, с помощью чего между ними определены, некие функциональные взаимосвязи и отношения. В таком случае рабочим звеном информационной системы может являться автоматизированное рабочее место административного персонала, информационное подразделение системы управления компанией или относительно самостоятельной группой управленческих работников, связанных однотипностью выполняемых информационных задач [2].

В рассматриваемой мной компании АО «НПП «Дельта», был изучен процесс управления информационными системами в закупочной деятельности и были выявлены проблемы, которые мешают оперативному управлению информационному управлению, для оптимизированной работы закупочного и производственного процесса.

Для оперативного управления информационной логистической системой в закупочной деятельности предприятием было принято решение о внедрении автоматизированной системы управления финансово-закупочной деятельности (АС ФЗД), который будет обеспечивать непосредственную работу инициаторов с остальными подразделениями.

### **Литература**

1. **Лавриков И. Н.**, Транспортная логистика: учебное пособие / И. Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин. — Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. — 92 с.
2. **Левкин Г. Г.** Коммерческая логистика: учебник / Г. Г. Левкин. — М. — Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 377 с.

*Т. А. Пичугина, студ.; рук. М. Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТА СБЫТОВОЙ ПОЛИТИКИ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ООО «АШАН»)**

Одним из ключевых факторов эффективной сбытовой деятельности на предприятии розничной торговли является формирование ассортимента продукции. В последние годы в розничной торговле остро стоит вопрос с увеличением конкуренции на рынке ретейлеров. Повышение конкурентоспособности компании возможно за счет изменения ассортимента для удовлетворения потребительского спроса и привлечения новых покупателей [1].

В работе была рассмотрена компания ООО «Ашан», ее основные экономические показатели, ассортиментная политика, а также система формирования ассортимента. В компании разработана четкая и эффективная система формирования ассортимента, дальнейшая работа была направлена на тактический уровень управления ассортиментом.

Ключевой проблемой формирования ассортимента на тактическом уровне является неравномерное продвижение категорий. В последнее время в компании был сделан акцент на продовольственные товары. Непродовольственным товарам уделялось мало внимания несмотря на то, что по результатам ABC-XYZ — анализа они приносят большой вклад в общий товарооборот.

Как было сказано ранее, большую долю в ассортименте занимаю непродовольственные товары. Мы сделали акцент на рынках косметики и бытовой химии. Нашим предложением является расширение ассортимента компании в области товаров для стирки за счет внедрения в ассортиментную матрицу линеек био-продукции.

Расширение ассортимента в области непродовольственных товаров, а также внедрение био-товаров позволит нам повысить конкурентоспособность компании в области непродовольственных товаров, увеличить прибыль, а также привлечь новых покупателей.

### **Литература**

1. **Бузукова Е. А.** Мерчандайзинг. Курс управления ассортиментом в рознице. — СПб.: Питер, 2018. — 256 с.



*Е. Д. Овсянникова, студ.;*  
*рук. М. А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ТРУДА**

Стимулирование трудовой деятельности — стремление организации с помощью моральных и материальных средств воздействия побудить работников к труду, повышению производительности и качества труда для достижения целей организации [1]. Целью стимулирования труда является получение максимальной отдачи от использования имеющихся трудовых ресурсов.

Стимулы условно можно разделить на материальные и нематериальные.

Для выявления причины повышения текучести кадров предприятия отеля «СтандАрт» провели оценку удовлетворенности персонала системой мотивации труда. Было проведено анкетирование персонала.

Мероприятия направленные на повышение эффективности системы стимулирования труда, должны быть направлены на следующие показатели:

- Участие работников в управлении (выработка и принятие управленческих решений).
- Удовлетворенность системой карьерного развития и профессионального развития и системой вознаграждения и признания заслуг.
- Удовлетворенность отношениями в коллективе и Морально-психологический климат и организационно-трудовыми условиями труда.

Существуют рекомендации по совершенствованию системы стимулирования труда, которые включают в себя: отправлять один раз в год 5 сотрудников на повышение квалификации, создать зону отдыха, предоставлять нескольким сотрудникам в течении года билет в театр или путевки в санаторий и проводить 1 раз в год корпоративы приуроченным к праздникам. Результатом эффективного внедрения рекомендаций будет повышение эффективности трудовой деятельности и нормализация отношения в коллективе и Морально-психологического климата.

На основе предложенных рекомендаций мы провели экономический эффект от уменьшения текучести кадров.

$$\text{Эт} = \text{Зн} \times \text{Рс} (\text{Кт1} - \text{Кт2}) = 646,1 \times 124 (9,5 - 8,6) = 72\,104,76$$

Таким образом, мы провели социальный эффект, который показал хороший результат. Исходя из этого можно сказать что мы усовершенствовали систему стимулирования труда сотрудников отеля «СтандАрт».

### **Литература**

1. **Генкин Б. М.** Организация, нормирование оплаты труда на промышленных предприятиях: учебное пособие, 2018.

*Ю. М. Малеева, студ.;  
рук. О. В. Колесникова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПАО «МОСТОТРЕСТ»**

В настоящее время разработка конкурентной стратегии определяет успешность, силу компании и ее долгосрочное функционирование на рынке. Актуальность данной темы обусловлена изменениями, происходящими во внешней среде по отношению к компании, а также увеличением числа конкурентов и их агрессивным поведением.

Конкурентная стратегия — это модель определенных действий и правил, которым должно следовать предприятие, чтобы поддерживать определённый уровень конкурентоспособности. Выбор конкурентной стратегии начинается с изучения конкурентов, а именно их положения на рынке, имеющиеся ресурсы, конкурентные преимущества и т. д. [1]

Конкурентная стратегия предприятия ориентирована на достижение конкурентных преимуществ, обеспечивающих наилучшее и устойчивое долговременное финансовое положение предприятия, а также завоевание прочных позиций на рынке.

Стратегический успех фирмы зависит от обладания длительным и устойчивым конкурентным преимуществом. Длительность конкурентного преимущества определяется способностью предприятия сохранять и обеспечивать его защиту от возможного воспроизведения конкурентами.

Устойчивость конкурентного преимущества обуславливается тремя факторами: источником преимущества; количеством источников преимущества у предприятия и возможностями у предприятия находить новые источники конкурентного преимущества. [2]

Выделяя особенность рынка строительства, конкурентная стратегия должна разрабатываться с учетом специфики деятельности фирмы. Строительство является самой быстроразвивающейся сферой бизнеса, но также и одной из самых рискованных. Компаниям, работающим в сегменте B2B бизнеса, необходимо направлять свое внимание на укрепление и совершенствование своих конкурентных преимуществ, а также заручаться поддержкой государства для обеспечения большего портфеля заказов.

### **Литература**

1. **Меркулина И. А.** «Конкурентные преимущества современной фирмы: Учебное пособие / И. А. Меркулина. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2016. — 123 с.
2. **Нуралиев С. У.** Маркетинг: учебник / С. У. Нуралиев, Д. С. Нуралиева. — Москва: Дашков и К, 2016. — 362 с.

*А. С. Орешина, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Состояние внутренней среды организации имеет очень большое значение для эффективной деятельности предприятия. Сбалансированность внутренней среды организации определяется во многом действиями ее менеджмента по формированию системы управления персоналом. Состав элементов последней, их взаимосвязь и наполненность функционалом определяют способность производственного предприятия выполнить производственную программу и получить прибыль. Руководство организации должно быстро улавливать изменения в макро-, мезо- и микросреде, понимать их роль в настоящем и будущем и адаптировать системы управления персоналом под новые задачи. [1]

Ни одно предприятие не может эффективно существовать без сбалансированной и четкой системы управления персоналом. Это объясняется тем фактом, что персонал организации является очень подвижным и, зачастую, трудно управляемым простыми методами ресурсом. Многие предприятия, не имеющие научно обоснованную систему управления персоналом, испытывают трудности в развитии, организации производства и продаж, продвижении своей продукции и услуг.

Управление персоналом, как систематизированная деятельность в целом, представляет собой синергетическое взаимодействие таких явлений как, философия управления персоналом, концепция управления персоналом, методология управления персоналом, система управления персоналом и технология управления персоналом. [2]

Эффективность мероприятий, направленных на совершенствование и оптимизацию системы управления персоналом, рассчитывается через влияние на экономические показатели путем экономии финансовых ресурсов предприятия. Финансовые ресурсы экономятся на излишних затратах на организационные усилия по отбору, найму, адаптации персонала.

### **Литература**

1. **Басовский Л. Е.** Менеджмент: Учеб. пособие / Л. Е. Басовский. — М.: ИНРФА-М, 2018. — 216 с.
2. **Орлова О. С.** Управление персоналом современной организации. Учеб. пособие / О. С. Орлова. — М.: Издательство «Экзамен», 2019. — 286 с.

*Д. А. Морозова, студ.; рук. Е. С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕНЧМАРКИНГА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ**

На сегодняшний день российский рынок гостиничных услуг подвергается довольно большому влиянию со стороны международных гостиничных сетей, которые являются конкурентоспособнее по сравнению с отечественным сервисом. Нынешнее состояние отечественного рынка гостиничных услуг позволяет квалифицировать его как рынок монополистической конкуренции.

Бенчмаркинг — это процесс сравнения своей деятельности с лучшими компаниями на рынке и в отрасли с последующей реализацией изменений для достижения и сохранения конкурентоспособности [2].

Передовой опыт мировых лидеров помогает предприятиям-инициаторам подниматься на общий уровень развития экономики в макроэкономическом масштабе, повышая конкурентоспособность предприятий, что, в конечном счёте, положительно отражается на качестве итоговых продуктов, работ и услуг, и удовлетворение потребностей покупателя [1].

Являясь одним из новых направлений, бенчмаркинг получает свое развитие в российском бизнесе путём интеграции в гостиничные структуры. Одновременно с этим, развиваются и сами гостиничные цепи.

Бенчмаркинг для гостиничных цепей даёт значительные преимущества: позволяет разрабатывать высокоразвитые системы учёта производственных затрат, а также системы учёта затрат по центрам возникновения затрат и центры прибыли.

Бенчмаркинг сегодня является неотъемлемой частью управления компанией. Особое значение он занимает в управлении, что позволяет постоянно контролировать уровень качества, отслеживать последние тенденции в производстве товаров и услуг. Кроме того, этот инструмент дает компаниям, использующим его, возможность напрямую исследовать, видеть новые элементы, лучший опыт других компаний, поскольку он обеспечивает сотрудничество между компанией-инициатором и компанией-партнёром.

### **Литература**

1. **Донцова Л. В.** Бенчмаркинг как инструмент оценки эффективности системы внутреннего контроля. Монография; Проспект — М., 2016. — 248 с.
2. **Логина Е.** Бенчмаркинг — инструмент развития конкурентных преимуществ; Научная книга — М., 2016. — 53 с.

*К. А. Рязанов, студ.;*  
*рук. О. В. Колесникова, к.э.н. доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ТОВАРНОЙ ПОЛИТИКИ И УПРАВЛЕНИЕ ТОВАРНЫМ АССОРТИМЕНТОМ**

В современном мире любое предприятие, выстраивает свою ассортиментную политику. В практике нет каких-то регламентируемых стандартов, и поэтому каждый управляет своим ассортиментом так, как считает правильным. Главная цель компании состоит в получении прибыли через удовлетворение потребностей клиентов.

Под ассортиментом понимается перечень продаваемой в магазине продукции, составляемый по видам, типам, сортам, размерам и торговым маркам. Ассортимент характеризуется шириной, глубиной и сбалансированностью. Ширина ассортимента — количество товарных категорий, удовлетворяющих различные потребности. Глубина ассортимента — количество наименований товаров, которыми представлены однородные товарные группы. Сбалансированность ассортимента — отражает, насколько удачным является сочетание разных товарных групп с точки зрения концепции магазина, потребностей покупателей и диапазона цен [1].

Ассортиментная политика предприятия формируется с учетом финансовых возможностей, и тут особое внимание необходимо уделить составу и частоте обновления ассортимента, потому что от этого непосредственно зависит рост товарооборота и скорость реализации продукции. Отсутствие необходимого товара сказывается на эффективности торговли. Цель ассортиментной политики заключается в формировании оптимального, полного и рационального ассортимента в зависимости от потребностей рынка и стратегических целей предприятия.

### **Литература**

1. **Ш. Ш. Магомедов.** Управление товарным ассортиментом и запасами: Учебник для бакалавров / Ш. Ш. Магомедов. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2018. — 176 с.
2. **Сидоров П. А., Зинцова М. В.** Формирование ассортиментной политики // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, № 4 (2018) <http://naukovedenie.ru/PDF/33EVN416.pdf> (доступ свободный).

*М. А. Шабуева, студ.; рук. Е. В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ НА ПРИМЕРЕ ООО «ФЛАМИНГО»**

Эффективная деятельность организации напрямую зависит от результативности использования лучших кадровых методик в управлении и развитии персонала.

В наше время каждой компании, которая видит свое будущее, очень нужны действенные кадровые методы, направленные на структурированную работу с персоналом, на его успешное развитие, что в свою очередь будет соответствовать стратегическим целям компании. Соответственно, очень важно уделять достаточно внимания своему персоналу.

В организации ООО «Фламинго» были выявлены следующие проблемы:

1. Не структурирована система подбора кадров;
2. Система управления не основана на ценностном подходе.

В результате этого были предложены следующие мероприятия:

1. Для повышения эффективности подбора кадров предложено: провести в ООО «Фламинго» фотографию рабочего места сотрудника; структурировать и за регламентировать главные метрики при подборе кадров и их дальнейшем распределении по карьерной лестнице; внедрить в систему подбора метод тестирования; улучшить материальное поощрение наставника.
2. Для повышения эффективности системы ценностного управления на постоянной основе измерять показатель вовлеченности персонала в бизнес-процессы организации, анализировать данные и прорабатывать слабые стороны; организовать для сотрудников посещение культурно-оздоровительных центров; изменить отношение руководства к своим подчиненным в сторону улучшения.

Все эти методы помогут стандартизировать необходимые компетенции сотрудника конкретной должности за счет подбора подходящих по критериям кандидатов. Тестирование сотрудников поможет определять уровень знаний и умений сотрудников, и направлять их вовремя на обучение. Изменение отношения руководства к своим подчиненным будет происходить за счет того, что на практике управленцы компании будут являться носителями корпоративной культуры и показывать стандарты корпоративного поведения.

### **Литература**

1. **Анисимов В. М.** Кадровая служба и управление персоналом организации. — М., 2016. 319 с.
2. **Галенко В. П., Страхова О. А.** и др. Как эффективно управлять организацией? — 2 изд. — М: Инфра-М, 2016. 386 с.
3. **Курганов А. М.** Современный менеджмент. Теория и практика управления — М.: Книжный мир, 2017. 381 с.

*Е. А. Сысоева, асп.; рук. Н. Л. Кетоева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

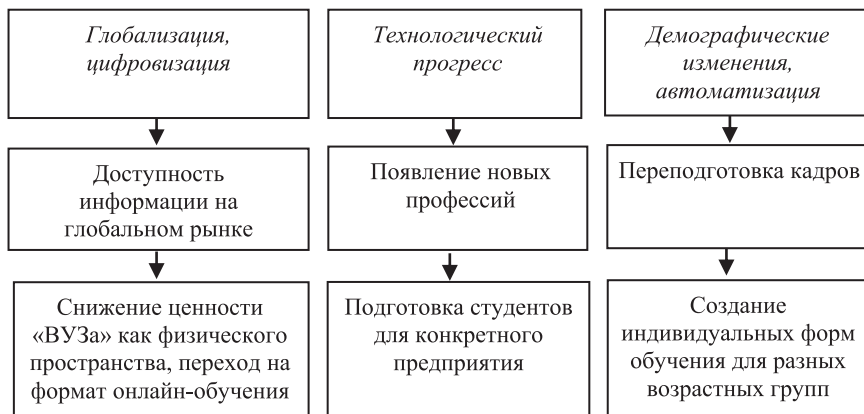
## **ВЛИЯНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАБОТЫ ВЫСШИХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

Образовательные учреждения всего мира в 2020 году находятся в условиях глобальной неопределенности и растущей конкуренции образовательных услуг, на которые влияет переориентированность студентов. В период пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) студенты и их семьи отдавали приоритет тем странам, где показан высокий уровень личной безопасности, а также здоровья и благополучия.

Выделяя реальные трудности для мировой системы высшего образования (Рис. 1), можно сказать, что следствием пандемии COVID-19 стал резкий переход на формат онлайн-обучения. Такое обучение позволило развить информационные компетенции у педагогов, студентов и административного персонала ВУЗов [1].

Университеты получили практический опыт, проведя приемную кампанию и организации совместных образовательных программ с использованием дистанционных технологий в период пандемии.

Система высшего образования подвергнута изменениям под влиянием определенных условий и внешних факторов, которые диктует современный мир.



**Рис. 1.** Трудности для мировой системы высшего образования (составлено автором)

### **Литература**

1. **Кетоева Н. Л., Сысоева Е. А.** Развитие информационных компетенций у субъектов образовательной деятельности в условиях цифровой экономики в период пандемии новой коронавирусной инфекции. Журнал «Экономика и предпринимательство». № 6. 2020 г. С. 1316–1319.

*А. А. Крамар, студ.; рук. О. В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕКЛАМА В INSTAGRAM: ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ В КАЧЕСТВЕ АГИТАЦИОННОЙ ПЛОЩАДКИ (НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И АДАПТАЦИЯ АККАУНТОВ ЗООЗАЩИТЫ, ЭКОЛОГИИ И ВЕГЕТАРИАНСТВА ДЛЯ РОССИЙСКОЙ АУДИТОРИИ)**

Современный мир невозможно представить без рекламы, сегодня это связано со всеми сферами жизни. Общеизвестно, что реклама является двигателем торговли. С ее помощью потребители могут легко узнать о появлении новых продуктов или услуг или о различных скидках и акциях на существующие продукты.

В настоящее время реклама распространяется не только обычным образом для всех на телевидении, радио или в газетах, но и появляются новые, более современные способы. Существуют такие нестандартные виды продвижения, как событийный, партизанский или вирусный маркетинг [1]. Также довольно популярной технологией рекламы стала реклама в Instagram.

Процессы глобализации мировой экономики, ведущие к усилению конкуренции на мировых рынках, сложным и диверсифицированным моделям производства, динамичности и изменчивости бизнеса, экстремальному информационному богатству и коммуникативности [2], актуализируют поиск и внедрение наиболее эффективных способов продвижения товаров и услуг. Разнообразные, знакомые рекламные носители в отношении современного искушенного потребителя часто оказываются неэффективными, а при чрезмерном «давлении» они вызывают раздражение и могут привести к эффекту, прямо противоположному ожидаемому. В этих условиях используемые рекламные технологии становятся все более изощренными, основанными на неясных механизмах воздействия, которые зачастую не признаются покупательской аудиторией. Среди таких способов, которые получили широкое распространение в последние годы — реклама в Instagram.

### **Литература**

1. **Кузнецова Ю. В.** Новые способы продвижения товаров: современные формы маркетинговых коммуникаций в России // Вестник Евразии. 2013. № 2.
2. **Аникина Т. В.** Языковые особенности комментариев в социальной сети «Инстаграм» // Научные исследования: от теории к практике. 2015. № 3(4).



*А. Д. Коноваленко, студ.; рук. С. А. Гулиева ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДИФИКАЦИИ И РАСШИРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СРЕДСТВ, ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

В работе рассматриваются вопросы модификации и расширения информационной системы, а также ее обслуживания при помощи собственных и внешних ресурсов.

Для создания полноценной системы необходимо создать четкий план развития организации. При планировании важно учесть, что при развитии возникнет необходимость в расширении информационных систем.

При расширении инфосетей возникает необходимость в дополнительном оборудовании и программном обеспечении. Есть 3 способа добиться успеха в данном мероприятии: первый — модернизация уже существующей системы. Уже имеющаяся база расширяется дополнительным оборудованием и ПО. Второй — создание новой работоспособной системы с нуля. Такой подход требует значительных затрат, а также наладки и проверки перед запуском. Третий — делегирование полномочий по созданию такой системы на аутсорсинг.

При самостоятельной модернизации информационной системы следует грамотно расставлять приоритеты между «развитием» и «обслуживанием» или же правильно пользоваться уже готовыми решениями, такими как покупка готового ПО, заказ индивидуальных программных средств для конкретных целей или самостоятельное производство необходимого программного обеспечения.

При создании новой системы следует понимать, что такой способ требует капиталовложений и подойдет в тех случаях, когда новая система будет гораздо больше, чем уже имеющаяся и ее модернизация потребует таких же или больших затрат, чем создание новой.

При делегировании полномочий по модификации информационной системы сторонней организации следует четко ставить цель и задачи, а также прописать ожидаемый результат, дабы избежать недопониманий с подрядчиком и быть уверенным в том, что в конце концов будет именно то, что необходимо. Такой подход также требует финансовых затрат не только на оборудование, но и оплату контракта с подрядчиком.

Данная работа полезна для фирм и компаний, планирующих расширение своих инфосетей в ближайшем будущем.

### **Литература**

1. **Гайдамакин Д. А.** Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учебное пособие. — М.: Гелиос АРЕ, 2002.
2. **Грабауров М.** Информационные технологии. — М.: Финансы и статистика, 2003.

*Ф. А. Кочарян, студент;  
рук. Е. В. Суворова, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РЕФОРМИРОВАНИЯ КОМПАНИИ

Все организации в своей работе прибегают к нужде изменения. Эти изменения различных направлений деятельности и уровней. Малые, средние и огромные изменения ждут любую компанию на всем ее пути работы. Чем меньше объем изменений, тем их чаще, но это и есть реформирование.

Актуальность данной темы состоит в том, что каждая компания в процессе своей деятельности прибегает к необходимости реформирования, перестройки или модернизации как определенной части, так и всей в целом. После разработки качественного плана по ее реформированию компания сможет функционировать более эффективно и в соответствии с последними технологиями.

К направлениям реформирования организации можно отнести: полноценная диагностика организации; улучшение системы управления в компании; улучшение системы взаимосвязи компании с внешней средой; улучшение системы обеспечения конкурентоспособности организации на рынке; улучшение функционирования системы управления качеством продукта или сервиса для потребителей; совершенствование организационно-технической стороны компании; улучшение деятельности системы управления персоналом; подпрограмма реструктуризации финансовых инструментов.

Главная задача — постараться обеспечить более эффективную работу компании после внедренных изменений, которая в последствии принесет еще большую прибыль.

На «Рисунок 1» представлена модель успешного проведения организационных изменений в компании.

При разработке системы модернизации компании выделялось 3 этапа: 1) происходило осознание в необходимости изменений; 2) составление плана и расстановка приоритетов; 3) проведение изменений; 4) документирование проведенных изменений.



Рис. 1. Общая схема управления знаниями

### Литература

1. Зуб А. Т. «Управление стратегическими изменениями в организациях»
2. Саратовцев Ю. И. «Управление изменениями: Учебник и практикум для академического бакалавриата»

*Е. И. Махова, студ.; рук. О. В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **БРЕНД — КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ**

В современном мире для успеха торговой марки недостаточно обеспечение большого оборота продукции и высокого качества. Сегодня рынок регулируется конечными потребителями: они формируют спрос на товары, и что немаловажно, существует достаточно большая вероятность спрогнозировать желания потребителей и использовать данную информацию в своих коммерческих целях [1].

Позиционирование бренда подразумевает маркетинговую стратегию, главной целью которой является стимулирование популярности и узнаваемости продукции, повышение лояльности покупателей, рост конкурентоспособности продукции, увеличение объёмов продаж и итоговой стоимости компании. Производители используют позиционирование бренда не только с целью формирования в сознании покупателей отличий и преимуществ перед аналогами и конкурентами, но и помогает сохранить этот образ.

В процессе продвижения бренда немалую роль выполняет каждый из его атрибутов, на которых выстроена система принципов позиционирования бренда. С помощью этой системы принципов бренд может стать востребованным, выделиться среди аналогичных продуктов, у потребителей будет сформировано отношение к бренду. Это объясняется тем, что покупатель оценивает как эмоциональные качества бренда, так и его целесообразность, рациональность, выгоду.

Таким образом, с помощью атрибутов бренда, на которых сформирована система принципов его позиционирования, представляется возможным донести до покупателя все причины, по которым он должен совершить «правильную» покупку.

Современный бренд в обязательном порядке учитывает интересы каждой группы, составляющей целевую аудиторию потребителей. Для этого необходимо понимать и выполнять этапы создания стратегии позиционирования, которые в свою очередь основаны на основных формах и методах продвижения бренда.

### **Литература**

1. **Бодягина Е. В.** Теоретические аспекты повышения узнаваемости бренда компании. — М.: КноРус, — 2017. — 248–255 с.

**Направление VII**

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА  
ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Energy and economy of enterprises**

---

**Руководитель направления:**

к.т.н., доцент Захаров Сергей Витальевич —  
директор института энергоэффективности  
и водородных технологий НИУ «МЭИ»

**Секция 32**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**  
**Industrial electric power engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Цырук Сергей Александрович*

*Секретарь секции: Кулешова Галина Сергеевна*

*Г. С. Кулешова, асп.;*

*рук. Д. В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ТРЕХФАЗНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии в распределительных электрических сетях (ЭС) и системах электроснабжения (СЭС) потребителей напряжением 0,4–6(10) кВ является важной задачей. В этой связи особое внимание уделяется проблеме организации одновременной компенсации реактивной мощности и снижения коэффициента гармонических составляющих напряжения и тока. Комплексным решением данной проблемы является использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) [1]. Актуальным направлением в области развития систем фильтрокомпенсации является разработка более эффективных ФКУ на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов (катконов [2]) с улучшенными технико-экономическими характеристиками. Это и определяет цель и задачи настоящего исследования.

В работе разработаны новые функциональные схемы реализации трёхфазных пассивных ФКУ на базе каткона, предложены схемы подключения данных ФКУ в ЭС с изолированной и глухозаземленной нейтралью для различных классов напряжений. В программной среде MATLAB/Simulink проведено компьютерное моделирование режимов работы этих устройств для ЭС и СЭС различной конфигурации и топологии. На основе аналитического обзора научно-технической литературы был произведен сравнительный анализ пассивных и гибридных ФКУ по технико-экономическим показателям, по результатам которого была оценена перспективность создания и внедрения ФКУ на базе каткона для улучшения технико-экономических показателей функционирования ЭС и СЭС.

Результаты исследования могут быть применены при разработке, конструировании и проектировании ФКУ низкого и среднего классов напряжения на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00730А.*

### **Литература**

1. **Бурман А. П., Розанов Ю. К., Шакарян Ю. Г.** Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем // М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 336 с.
2. **Бутырин П. А., Гусев Г. Г., Кужман В. В., Михеев Д. В.** Математическое и физическое моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе каткона // Электричество. 2014. № 11. С. 58–62.

*А. С. Тимонин, студ.; рук. С. А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВВОДНОЙ РАЗНОНОМИНАЛЬНЫЙ КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ (ВРКА) И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СЕТЯХ TN-C-S**

В сетях электроснабжения с системой заземления TN-C-S для защиты потребителей от ряда опасных факторов используются комбинации из нескольких защитных аппаратов, что усложняет схему и делает ее более дорогой. При этом требования безопасности, регламентируемые [1] и [2], не выполняются, поскольку даже в случае срабатывания защитных аппаратов на корпусе установки может оставаться опасное напряжение, которое с большой долей вероятности может оказаться смертельным для человека [3].

В связи с этим был разработан вводной разнономинальный защитный коммутационный аппарат (ВРКА) [4], который выполнен на базе защитных аппаратов модульного или силового оборудования и содержит автономный модуль малономинального автоматического выключателя. При этом все полюса ВРКА отключаются одновременно.

В случае аварийной ситуации, связанной с обрывом PEN проводника или замыкания L проводника на землю, срабатывает тепловой расцепитель малономинального автоматического выключателя и отключает весь ВРКА, полностью отделив тем самым электроустановку от распределительной сети. А при замыкании L проводника на PEN или N проводники под действием токов короткого замыкания срабатывают силовые модули ВРКА.

Таким образом, установка ВРКА для защиты сетей TN-C-S делает схему более простой и дешевой по сравнению с остальными вариантами, сохранив при этом уровень безопасности на требуемом уровне.

### **Литература**

1. **Правила устройства электроустановок. Седьмое издание.** — Утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204.
2. **ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Межгосударственный стандарт.** — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. **Долин П. А.** Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. — М.: Знак, 2000, 440 с.
4. **Костров В. П.** Способ трансформации систем электроснабжения TN-C-S и TT и система электроснабжения для осуществления способа с защитным вводным разнономинальным коммутационным аппаратом (ВРКА) // Патент России № 2695643. 2019.

*Е. П. Младзиевский, аспирант;  
рук. Е. Н. Рыжкова, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ РЕЗИСТОРА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

При комбинированном заземлении к нейтрали сети подключаются параллельно друг другу дугогасящий реактор и резистор. Такое решение может быть эффективно в сетях, где невозможно обеспечить точную компенсацию ёмкостного тока.

На рис. 1 представлена диаграмма перенапряжений на линии при однофазном замыкании на землю для различных степеней расстройки компенсации ( $\nu$ ).

Величины перенапряжений на рис. 1 были получены расчётным путём [1]. Анализируя диаграмму, можно сделать вывод, что в компенсированной сети без резистора ( $G_N^* = 0,05$ ) при больших степенях расстройки компенсации могут наблюдаться высокие кратности перенапряжений (до  $3,5U_{\phi}$ ). При увеличении значения  $G_N^*$  наблюдается значительное снижение перенапряжений, что свидетельствует об эффективности применения комбинированного заземления нейтрали в тех случаях, когда невозможно добиться точной настройки компенсации. Для ограничения уровней перенапряжений ниже значения  $2,6U_{\phi}$  (допустимый уровень), необходимо выполнение равенства  $\nu = G_N^*$  ( $G_N^*$  — отношение активной проводимости резистора к ёмкостной проводимости сети).

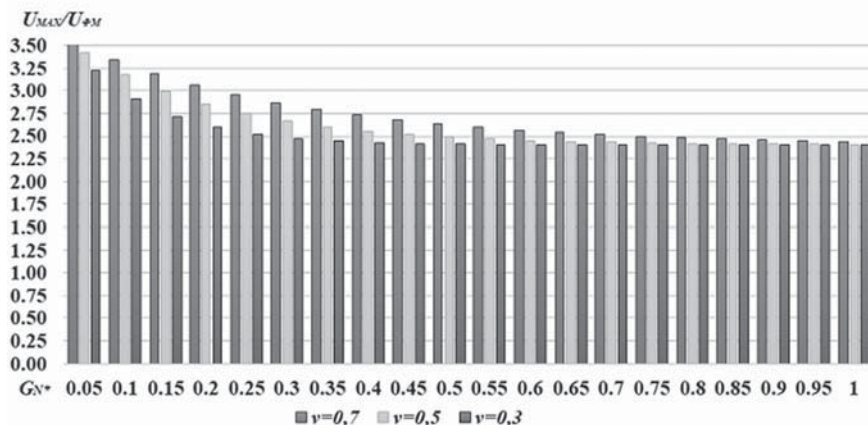


Рис. 1. Уровни перенапряжений при комбинированном заземлении нейтрали

### Литература

1. Вайнштейн Р. А., Коломиец Н. В., Шестакова В. В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие / Р. А. Вайнштейн, Н. В. Коломиец, В. В. Шестакова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 118 с.



*Е. Р. Мурашов, соиск.; рук. Ю. В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Для промышленных предприятий в процессе их деятельности становится актуальной задача эффективности использования и оценки величины доступных электрических мощностей. Решение данной задачи влечёт за собой рациональное потребление электрической энергии и оптимизацию затрат на ее оплату благодаря наиболее точному прогнозированию использования мощностей предприятия, а также возможность расширения производств в рамках имеющихся резервов.

В качестве инструментов для решения данной задачи предлагается использование анализа графиков расхода электроэнергии (ЭЭ), электрической нагрузки, режимных дней и составление диаграммы распределения нагрузок по питающим линиям предприятия, которые строятся на основе данных о почасовом потреблении за календарный год. Полученные графики нагрузки позволяют выделить величину резерва электрической мощности в системе электроснабжения как разницу между величиной установленной максимальной мощности и фактическим максимальным потреблением предприятия. Величина резерва должна разделяться между наименее загруженными питающими линиями, выбранными исходя из диаграмм распределения нагрузки питающих линий. В свою очередь, графики летнего и зимнего режимных дней позволяют оценить степень неравномерности распределения нагрузок в течение суток и величину разброса максимума мощности в течение года. А анализ почасового потребления за сутки в различные периоды года позволяют установить форму типового графика нагрузки для рабочего и выходного дня предприятия. Выполнение расчёта стоимости ЭЭ (мощности) по третей — шестой ценовым категориям [1] позволяет применить выявленные характерные точки на графиках расхода ЭЭ и оценить экономию денежных средств при переходе между ценовыми категориями в течение календарного года.

Полученные графики представляют интерес с точки управления электрическими мощностями и прогнозирования электропотребления.

### **Литература**

1. **Цырук С. А., Сенчук Д. А., Орлова К. В.** Основные принципы ценообразования на розничном рынке электроэнергии (мощности): учеб. пособие — М.: Издательство МЭИ, 2017. — 44 с.

*А. А. Дюдяков студ.; рук. С. А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДАВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСОВ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ПОМОЩИ ГИБРИДНЫХ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

В сетях промышленных предприятий, офисных зданий и торговых комплексов всё более широкое применение получают приемники электроэнергии с нелинейными вольтамперными характеристиками, использование которых приводит к искажению токов и напряжений сети.

При подключении устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) между индуктивностью сети и емкостью УКРМ могут возникнуть резонансные процессы на частотах высших гармоник. В результате этого уровень высших гармоник может возрасти в несколько раз. Использование гибридных активных фильтров (АФ) позволяет подавить негативные эффекты, вызываемые резонансными явлениями в сетях потребителей [1].

В рамках работы в программном комплексе Matlab построена модель сети с резонансом на частоте 5-й гармоники и гибридного фильтра последовательной структуры, который подавляет негативные эффекты от резонанса.

Для управления активной частью фильтра использован упрощённый математический аппарат, который позволяет при меньшем количестве вычислений получать качество управляющего сигнала, не уступающее системе управления приведенной в [1].

Также с позиции устойчивости рассмотрены три метода определения гармонического компенсирующего сигнала. Для конечной реализации в модели выбран метод, основанный на вычислении компенсирующего сигнала исходя из тока, протекающего через пассивную часть фильтра.

В процессе моделирования режима работы типовой подстанции было установлено, что величина напряжения 5-й гармоники при резонансе без подключения фильтров составляет 15% от основной гармоники, с подключением пассивного фильтра 10%, а с подключением гибридного всего 1%. Таким образом, гибридный фильтр эффективно подавляет негативные явления вызываемые резонансом.

### **Литература**

1. **H. Fujita, T. Yamasaki and H. Akagi**, "A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial power systems," PESC 98 Record. 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (Cat. No. 98CH36196), Fukuoka, 1998, pp. 209–216 vol. 1, doi: 10.1109/PESC.1998.701901.

*М. В. Котерева, студ.; рук. С. А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПРОКЛАДКЕ В ЗАЩИТНЫХ ТРУБАХ**

Наиболее распространенный способ подсоединения к электрическим сетям является прокладка кабеля в траншеях. Сегодня с помощью специальных защитных труб ведут монтаж самых разных сетей, тем самым обеспечивая высокий уровень надежности. Поэтому проблема выбора труб очень актуальна.

Для прокладки кабелей в земле используются изделия из следующих материалов:

1. Металлические.
2. Чугунные.
3. Асбестоцементные.
4. Бетонные (железобетонные).
5. Пластиковые.

В данной работе был проведен сравнительный анализ защитных труб из разных материалов, их достоинства и недостатки, особенности их монтажа. Данный анализ показал, что наиболее целесообразно использовать пластиковые трубы. Они по своим параметрам заметно превосходят трубы из других материалов.

После выбора материала труб необходимо правильно выбрать их характеристики. Ошибки при данном выборе могут привести к значительным деформациям труб, которые могут помешать нормальной затяжке кабеля. От выбора оптимальных характеристик зависит дальнейшая эксплуатация всей линии.

Диаметр труб рассчитывают и выбирают в зависимости от числа прокладываемых в них кабелей, их диаметра, количества изгибов трубы на трассе. Полиэтиленовые трубы так же выбирают по значению SDR.

Полиэтиленовые трубы являются самым современным и выгодным вариантом, при этом самым молодым методом защиты кабеля. Поэтому остается еще много вопросов при проектировании линий с их применением. В нормативных документах эти вопросы еще плохо освещены. Учитывая высокую стоимость силовых кабелей и их монтажа, необходимо приступить к разработке отдельного нормативного документа на прокладку кабелей в трубах или доработать уже действующие в нашей стране стандарты.

### **Литература**

1. **Правила устройства электроустановок.** — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
2. **СНиП 3.05.06-85** «Строительные нормы и правила».
3. **Кабели силовые для стационарной прокладки.** ГОСТ 24183-80.

Е. А. Булычева; рук. С. А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ГЕНЕРАТОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПОМЕХИ

Уровень несинусоидальности напряжения сети зависит от частотной характеристики сопротивления, корректное определение которой является необходимым условием для решения ряда практически важных задач.

В [1] предложен метод экспериментального определения частотных характеристик, основанный на введении в сеть троичной импульсной последовательности. Достоинством метода является отсутствие ограничений на частотный диапазон измерений и возможность определения частотной характеристики с произвольным видом нагрузки.

С целью практического применения предложенного метода разработан генератор троичной импульсной последовательности, который реализован на базе однофазного инвертора с программируемой системой управления (рис. 1). Из электрической сети и звена постоянного напряжения сигналы поступают на плату датчиков напряжений и тока, которые преобразуют входные сигналы до требуемых в АЦП значений. Далее сигнал управления поступает через плату драйверов силовых ключей на инвертор. В качестве ключей мостового инвертора используются IGBT транзисторы и набор пассивных элементов, обеспечивающих безопасную работу ключа в мосте.

Разработанный генератор является необходимым инструментом экспериментального исследования параметров электрической сети с переменными нелинейными нагрузками.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90264.*

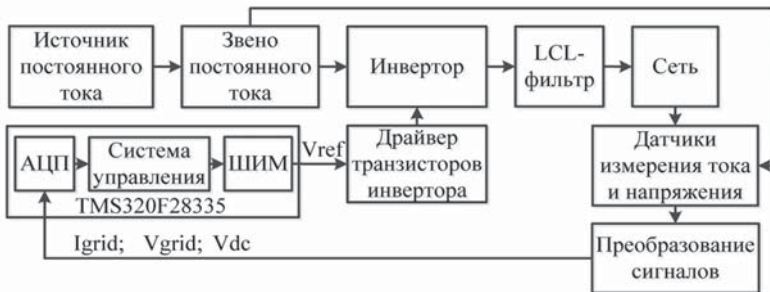


Рис. 1. Схема генератора троичной импульсной последовательности

### Литература

1. **Bulycheva E., Yanchenko S.** «Online Determination of Varying Harmonic Load Contribution to Grid Voltage Distortion,» ICIEAM-2020, Sochi, Russia, 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112017.

*Н. В. Данилов, асп.; А. С. Тимонин, студ.;  
рук. С. А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА БАВР ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

В системах транспортировки, распределения и потребления электроэнергии имеют место кратковременные нарушения электроснабжения на предприятиях с непрерывным технологическим циклом, сопровождаемые глубокими провалами напряжения. Одним из условий обеспечения непрерывности технологического процесса для таких предприятий является сохранение устойчивости двигательной нагрузки. Решение этой задачи усложняется тем, что мощность узлов нагрузки предприятий может составлять до 250–450 МВт, большая часть которой приходится на мощные синхронные (4000, 6300, 12500 и 20000 кВт) и асинхронные электродвигатели.

Проблема устранения последствий от провалов напряжения на работу электротехнических комплексов решались либо использованием быстродействующих устройств автоматического ввода резерва (БАВР) с циклом работы не более 100 мс, либо с помощью источников бесперебойного питания на базе аккумуляторных батарей или инерционных накопителей энергии (второй способ для мощных узлов нагрузки крайне неэффективен ввиду огромных финансовых вложений).

На кафедре ЭППЭ МЭИ ведутся разработки цифровых БАВР с полным циклом не выше 20 мс при времени реакции пускового устройства (ПУ) не более 0,2 мс на базе быстродействующих элегазовых и вакуумных коммутационных аппаратов [1, 2].

В части совершенствования аппаратной составляющей БАВР в ближайшее время планируется модернизация устройства в соответствии с протоколами стандарта МЭК 61850 для цифровых подстанций, что также подразумевает внесение коррективов в работу разрабатываемого устройства и повышение надежности фиксации аварийного режима.

### **Литература**

1. Патент РФ на изобретение «Способ быстродействующего включения резервного электропитания и устройство для его осуществления» № 2717236. Данилов Н. В., Цырук С. А., Петров В. С., 2020.
2. Патент РФ на изобретение «Способ быстродействующего включения резервного электропитания и устройство для его осуществления» № 2662639. Данилов Н. В., Данилов Р. Н., Цырук С. А. и др., 2018.

*С. Ю. Самошина, студ.;  
рук. Д. В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕХОДА ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ НА БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА**

В настоящее время перед человечеством остро стоит проблема рационального и эффективного использования невозобновляемых ресурсов в хозяйственно-производственной деятельности, в том числе и в электроэнергетике [1]. Тепловые электростанции являются основой электроэнергетического комплекса Российской Федерации. В этой связи существует необходимость изменения условий топливообеспечения тепловых электростанций из-за ужесточающихся экологических требований и требований в области энергоэффективности [2]. Кроме того с каждым годом увеличивается количество устаревшего и физически изношенного оборудования, что требует обновления систем генерации электрической и тепловой энергии. Следовательно, существует актуальная задача модернизации и повышения энергетической эффективности тепловых электростанций. Для электростанций, работающих на твердом топливе, решением этой задачи может стать переход на более эффективный и экологичный вид топлива, т. е. природный газ.

В работе проведен обзор особенностей и проблем функционирования теплоэлектростанций (ТЭЦ) Российской Федерации. Осуществлен анализ инфраструктуры и технико-экономических показателей эффективности работы ТЭЦ. Сформирован организационно-экономический механизм перехода теплоэлектростанции с твердого на газообразное топливо. Рассмотрены основные этапы проекта по реконструкции энергоблоков ТЭЦ. Разработана методика оценки технических и экономических показателей проекта по реконструкции, и построена модель для определения его влияния на экономические и финансовые показатели ТЭЦ. Проведен анализ эффективности проекта по переводу энергоблока ТЭЦ с угля на газообразное топливо.

Полученные теоретические и практические результаты работы можно использовать для оценки возможности и экономической эффективности перехода ТЭЦ Российской Федерации с твердого на газообразное топливо.

### **Литература**

1. **Лозенко В. К., Михеев Д. В.** Управление энергоэффективностью и устойчивое развитие организаций // Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
2. **Роголёв Н. Д., Зубкова А. Г., Мастерова И. В.** Экономика энергетики: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

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

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Установлено, что на основные параметры источников света большое влияние оказывают отклонения напряжения. Зависимость потребляемой мощности осветительных установок от отклонения относительного значения напряжения — линейна и может быть выражена формулами (1) (для светодиодных ламп) и (2) (для люминесцентных ламп) [1].

$$P_{\text{л}} = P_{\text{ном}} (1,56 \cdot U/U_{\text{ном}} - 0,56) \quad (1)$$

$$P_{\text{л}} = P_{\text{ном}} (2,64 \cdot U/U_{\text{ном}} - 1,64) \quad (2)$$

где  $P_{\text{л}}$  — потребляемая мощность осветительной установки,  $P_{\text{ном}}$  — номинальная мощность осветительной установки,  $U$  — значение напряжения сети,  $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение сети.

Для оценки влияния отклонения напряжения на потребляемую мощность был выполнен светотехнический расчёт проектного помещения площадью 28,9 м<sup>2</sup>. Светодиодными источниками света выбраны 6 светильников ARS/R UNI LED 595 мощностью 30 Вт, люминесцентными источниками света — 6 светильников ARS/R 418/595 мощностью 72 Вт. Суммарная потребляемая мощность рассчитывалась при напряжениях от 100 до 110% от номинального.

При анализе полученных данных установлено, что с повышением отклонения напряжения наибольшее увеличение потребляемой мощности наблюдается у люминесцентных ламп (при отклонении напряжения на 10% потребление мощности и, следовательно, её стоимость, увеличится на 26,4%). В то время как для светодиодных ламп эта зависимость менее выражена (при отклонении напряжения на 10% потребляемая мощность и, соответственно, стоимость, повысится на 15,6%). С учётом тарифа на электроэнергию 5,73 руб/кВт·ч для пятидневной рабочей недели и 8 часового рабочего дня стоимость переплаты за электроэнергию при отклонении напряжения на 10% составят 1453 руб/год для люминесцентных и 358 руб/год для светодиодных осветительных приборов только лишь для одного помещения. К тому же, повышение потребляемой мощности приводит к сокращению срока службы и увеличению потерь.

### Литература

1. Д. Г. Сафонов, С. Ю. Долингер. Учёт дополнительных потерь мощности в электрооборудовании потребителей и систем электроснабжения при отклонениях напряжения // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.

*О. И. Калашникова, студ.;  
рук. С. А. Цырук, к.т.н., проф (НИУ «МЭИ»),  
Лепёшкин Е. В., рук. напр. (Schneider Electric)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IoT В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Промышленные предприятия различных секторов экономики переживают период реформирования. Внедряются технологические изменения, отвечающие современным потребностям развития отрасли, например, такие как применение устройств, поддерживающих возможность подключения к сети Ethernet. К преимуществам использования умных устройств следует отнести широкую распространённость этой технологии, наличие уже разработанных отраслевых стандартов и соответствующих программных продуктов.

Технология IIoT (Industrial Internet of Things — промышленный интернет вещей), — это модернизированные сети с функциями передачи данных и технологиями сбора информации о производстве и потреблении электроэнергии, позволяющими автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Интеллектуальные сети электроснабжения (Smart Grid) помогают контролировать и систематизировать поступившие с устройств сигналы, анализ которых может сократить чрезмерное потребление электроэнергии, изменение микроклимата внутри электроустановки, выход оборудования из строя, и даже аварии [1].

Цель работы заключается в модернизации демонстрационного стенда с использованием технологии IIoT.

Проведены сравнение и анализ предложения разных производителей оборудования, поддерживающего технологии IIoT; осуществлена проверка работоспособности и исправности оборудования; составлена спецификация для обновления и расширения функционала стендов, выполнена сборка и проверка демонстрационного стенда.

В дальнейшем планируется с помощью этого стенда демонстрировать возможности технологии IIoT и его усовершенствование с учетом обновления датчиков и оборудования.

### **Литература**

1. **Кобец Б. Б., Волкова И. О.** Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.



*И. В. Волков, студ.; рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ OPEN-SPACE ПРОСТРАНСТВ**

Офисы формата open-space (открытое пространство) появились в России сравнительно недавно и быстро стали популярными. Преимущества открытого пространства: оптимальное использование пространства, коллективизм, гибкость и активность взаимодействия сотрудников.

Перерывы в электроснабжении важнейших систем хранения информации, пожаротушения, аварийного освещения, систем оповещения, недопустимы, поскольку вызывают прямую угрозу жизни людей, невосполнимые материальные потери [1]. В применяемых системах АВР одно- и трёхфазных с технологией контроля напряжения и частоты, заложена возможность задавать приоритет линий или потребителей.

Монтаж всех инженерных систем в пространствах open space предполагает использование большого количества проводов и кабеленесущих систем. Силовые и слаботочные линии можно проложить в гофрированных трубах или в системах напольных и плинтусных кабель-каналов с розетками со степенью защиты IP44, IP66, а также на металлических или проволочных лотках под фальшпотолками [1].

Уровень естественного и искусственного освещения помещений open space должен соответствовать требованиям СП 52.13330 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278.

Использование светодиодных светильников экономит до 70% электроэнергии по сравнению с люминесцентными лампами. Низкий уровень пульсации светового потока (менее 5%) обеспечивает комфорт для глаз. Лампы для индивидуального освещения рабочих мест согласно требованиям СанПиНов должно составлять до 30 000 часов, используя светодиодные лампы экономичность электропотребления возможна до 86%.

В open space пространстве системы освещения контролируют несколько параметров регулирования включения/выключения нагрузки в заданном интервале времени в зависимости от наличия движущихся объектов в зоне обнаружения и от освещённости на расстоянии до 15 метров и имеет угол обзора 180 градусов.

Современное инженерно-техническое оборудование и технологии могут обеспечить среду обитания любого уровня качества. Использование беспроводных, энергосберегающих, автоматических и умных технологий лягут в основу open space пространств уже в ближайшие несколько лет.

### **Литература**

1. Долгошева О. Б. Инженерное обеспечение помещений со свободной планировкой // АВОК № 4, 2007

*А. Д. Кондратьев, студ.; М. Е. Вихров к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВОК ПЕРЕМЕННОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Несмотря на то, что энергетика отрасль инерционная и изменения в ней происходят редко, невозможно отрицать, что 21 век в энергетике будет протекать под знаменем возобновляемых источников энергии. Это, безусловно, несет за собой определенные вызовы для инженерно-технического персонала и проектировщиков соответствующих систем.

К источникам переменной альтернативной генерации (далее ПАГ) принято относить те виды возобновляемых источников, процесс выработки электроэнергии на которых недиспетчеризуем (фотовольтаика или солнечная генерация и ветроэнергетика). Именно невозможность контролировать сам процесс выработки электроэнергии, пиков производства, а также согласовывать это с пиками потребления и составляет основную сложность в процессе создания систем, в которые интегрированы установки ПАГ. Эта особенность требует от специалиста-проектировщика, значительно расширить круг решаемых задач и включить в процесс принятия решений дополнительные факторы, которые не рассматриваются в процессе проектирования ортодоксальных систем. Под другим углом должны рассматриваться вопросы качества и бесперебойности электроснабжения, включая технико-экономическое, технологическое и географическое обоснование при принятии инженерных решений.

Ввиду актуальности описанных выше задач, в работе будут рассмотрены ключевые вопросы проектирования систем электроснабжения предприятий малой и средней мощности с комбинированным электроснабжением от установок ПАГ параллельно с питанием от единой энергетической системы. Особое внимание в исследовании уделено пунктам: особенности электроснабжения потребителя от двух источников питания; элементы построения систем при снабжении электроэнергией от солнечных и ветровых станций; технико-экономическое обоснование при принятии решения комбинированного электроснабжения.

### **Литература**

1. **Харченко Н. В.** Индивидуальные солнечные установки. Изд. Энергоатомиздат, Москва, 1991 г.

*К. А. Мухин, студ.; рук. М. Е. Вихров, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ (ИБП) НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Мы практически официально перешли из одной геологической эпохи в другую. Собрание экспертов Международного геологического конгресса, признало голоцен завершившимся. Мы живем в антропоцене. Следуя этой логике, электричество, тепло, телекоммуникации теперь можно ставить в один ряд с природными явлениями, а масштабные сбои в сетях именовать природными катаклизмами.

В данной работе основными пунктами будут являться:

- изучение стандарта о степени резервирования ТПА-942;
- изучение стоимости простоев при отключении электроэнергии в различных отраслях;
- выявление потребителей, которые нуждаются в использовании ИБП на предприятиях.

Современное сообщество всё больше зависит от электроэнергии, и эти аварии наносят ощутимые убытки предприятиям, населению и правительствам. На жизненно важных объектах (больницы, военные объекты и т. д.) для функционирования жизнедеятельности во время аварий в энергосистемах используются автономные источники питания: аккумуляторы, генераторы (ИБП различных типов). Система резервного питания должна обладать высочайшей надежностью, необходимо использовать ИБП, гарантированно обеспечивающие защиту электропитания. Спрос на них особенно высок у телекоммуникационных компаний (провайдеры, операторы связи, ЦОДы). В силу существенных различий в условиях эксплуатации и требованиях к ИБП на транспорте, в нефтехимической отрасли, на энергетических объектах (атомных станциях, гидроэлектростанциях, тепловых электростанциях) каждый проект, в котором задействуются подобные системы, уникален.

На основе проведённой работы сделаны выводы об эффективности и экономической целесообразности применения ИБП на промышленных предприятиях, а также был проведен анализ мер по повышению надежности электроснабжения ответственных потребителей.

### **Литература**

1. ГОСТ ИЕС 62040-1-2018 Системы бесперебойного энергоснабжения (UPS). Часть 1. Общие положения и требования безопасности к UPS.

*А. И. Морозов, студ.; рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ КОВОРКИНГ-ЦЕНТРОВ**

Создание комфортного и эргономичного рабочего пространства играет значительную роль в поддержании высокой производительности труда. «Co-working» в переводе с английского языка «работающие совместно».

Первый коворкинг был создан в 2005 году Бредом Ньюбергом — программистом из Америки. Идея прижилась, ей стали пользоваться в других профессиях. В России в 2008 году в Екатеринбурге открыт коворкинг.

Эксперты прогнозируют: к 2020–2022 гг. половина компаний будет использовать коворкинги как альтернативу офисам. Так поступают IBM, Microsoft, Facebook, и тенденция набирает обороты.

Коворкинг совмещает на одном пространстве различные функции: рабочее место, зону отдыха, переговорную, одним словом это и офис и бизнес центр для людей различных профессий за умеренную оплату.

Для разграничения пространства используется световое зонирование. В рабочих местах для команд используется холодный цвет, он увеличивает концентрацию. В зонах отдыха тёплый свет, он идеален для расслабления.

Правильно подобранное освещение позволяет положительно влиять на настроение и здоровье резидентов, повышать их концентрацию и производительность. Это достигается исходя из данных о биологических особенностях и эмоциональном воздействии света на человека.

Для общего освещения достаточно 300 люкс, в рабочих зонах не менее 500 люкс. Освещение должно быть комбинированным с регулированием цветовой температуры и интенсивности света для отдельных рабочих зон.

В Европе популярна концепция Human Centric Lighting — светильники, обеспечивающие качественное и экономически эффективное освещение и воздействующие на работоспособность, настроение и даже самочувствие человека [1].

В России данное направление развивает компания «Световые Технологии» представив рынку «Биологически и Эмоционально Эффективное Освещение» в исполнении светильников серии ColorFusion. Они оснащены системой управления и уникальными запрограммированными сценариями освещения. Принцип управления состоит в изменении цветовой температуры светового потока светильников в зависимости от типа деятельности и времени дня. Таким образом, освещение подстраивается под биологические часы людей.

Развитие техники и технологии в освещении не стоит на месте и данный вид освещения займет свою нишу во всех сегментах освещения.

### **Литература**

1. Биологически и эмоционально эффективное освещение Human Centric Lighting // <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/hcl/> (обращение 06.11.2020 г.)

А. Р. Эльбазуров, М. И. Мальсагов, аспиранты;  
рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ АВТОНОМНОЙ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПО ОСНОВНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ

Основным недостатком автономных систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии, в частности энергии ветра, являются нестабильность и зависимость их функционирования от природных ресурсов, что влияет на надежность работы системы электроснабжения. Статистические данные по отказам и времени восстановления элементов и ВЭУ, которые приведены в таблице 1, где  $\omega$  — поток отказов структуры,  $T_v$  — среднее время восстановления структуры.

Таблица 1. Показатели надежности элементов сети

Элементы сети	$\omega$ , 1/год	$T_v$ , ч
ВЭУ Vestas V27 225 кВт	1,1	28,7
Инвертор	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-2}$	1,75
Аккумуляторная батарея	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	8,76
Авт. выключатель	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	1,75

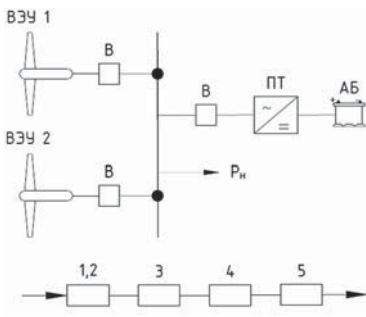


Рис. 1. Схема электроснабжения и эквивалентная схема

Рассмотрим схему электроснабжения на рисунке 1 и определим параметр потока отказов системы, среднее время ее восстановления и среднюю вероятность отказа системы, рассчитав две последовательно соединенные ВЭУ, затем все последовательно соединенные устройства [1].

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_i = 1,153 \text{ 1/год} \quad (1)$$

Среднее время восстановления:

$$T_{vc} = \frac{1}{\omega_c} \sum_{i=1}^n \omega_i T_{vi} = 0,22 \text{ ч} \quad (2)$$

Средняя вероятность отказа системы:

$$Q_c = \frac{\omega_c T_{vc}}{8760} = 0,29 \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

Результаты расчетов показывают высокую надежность рассматриваемой системы в целом, обусловленную низкой интенсивностью отказов отдельных восстанавливаемых элементов. При этом доминирующее влияние на надежность системы оказывает повреждаемость ветроустановки.

### Литература

- Алферова Т. В., Пухальская О. Ю. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса. — Гомель: 2017. — 112 с.

*А. М. Лысенко, студ.; рук. М. С. Егоров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОКАЗАНИЯ СЧЁТЧИКОВ АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

Вопросы качества электроэнергии (КЭ) являются одними из важнейших. Для их нормирования на территории РФ введён ГОСТ 32144-2013. Не соответствие, которому влечёт физические и экономические последствия.

В частности, исследования счётчиков демонстрируют, что от качества электроэнергии зависит погрешности измерений активной энергии [1, 2]. Связано это с тем, что показания счётчика определяется алгебраической суммой всей активной энергии.

Когда КЭ по коэффициенту обратной последовательности не соответствует ГОСТ, продавец не получает за неё оплату в полном объёме (Рис. 1, а). Активная энергия обратной последовательности далее распространяется по сетям и попадает к другим покупателям, имеющим симметричную линейную нагрузку (Рис. 1, б). При этом наблюдается иная картина: покупатель оплачивает согласно показаниям счетчиков энергию не только прямой последовательности, но и обратной, т.е. переплачивает.

Влияние несинусоидальности на показания счётчиков также приводит к тому, что потребитель, который получает некачественную электроэнергию из сети, платит больше, а потребитель, который вносит искажения в сеть, платит меньше, чем потребитель электроэнергии без искажений [1].

Систематизируя данные, можно сказать, что для оценки полной погрешности счётчика требуется комплексный подход, учитывающий несколько показателей КЭ.

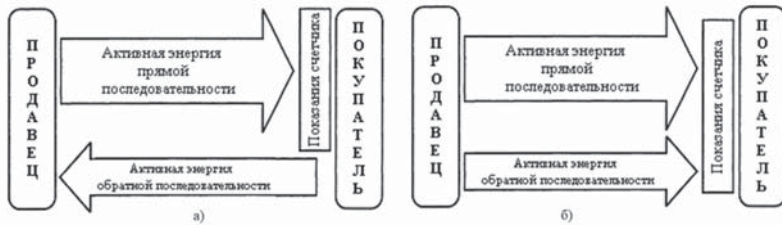


Рис. 1.

### Литература

1. **Киселев В. В., Пономаренко И. С.** Влияние несинусоидальности напряжения и тока на показания электронных счетчиков электроэнергии // Промышленная энергетика. — 2004. — № 2. — С. 40–45.
2. **Соколов В. С.** Как работают электросчетчики при низком качестве энергии [Электронный ресурс]. URL: [https://www.lcard.ru/download/articles/sokolov\\_2004\\_article1.pdf](https://www.lcard.ru/download/articles/sokolov_2004_article1.pdf)

*А. Р. Байбиченков, студ.; рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Как правило гибридные комплексы строятся или на постоянном токе, или на переменном, рассмотрим их преимущества и недостатки.

Гибридный комплекс на постоянном токе имеет несколько ступеней преобразования солнечной, ветровой и приливной энергии (контроллер, заряд-разряд аккумуляторов, инвертор) на стороне низкого напряжения постоянного тока. Необходимо довольно сложная организация системы, поскольку нужно дать приоритет или для солнечных батарей, или для ветрогенерации или для приливной станции, приоритет необходим, поскольку времена приливов и отливов цикличны, как и возможность использования солнечных батарей.

Систему электроснабжения комплекса нужно строить с учетом выбора напряжения сети постоянного тока, а также учитывать напряжение на аккумуляторных батареях, подключать дополнительную генерацию, если напряжение понизилось ниже заданного в течение определенного промежутка времени. Следить по напряжению на аккумуляторных батареях и обеспечивать полный зарядный цикл аккумуляторов (как минимум фазы заряда максимальным током и насыщения), отключить ту генерацию, на батареях которой напряжение на аккумуляторах поднялось выше заданного, иметь отключающую аппаратуру на максимальный ток всей генерации комплекса.

Электротехнический комплекс на переменном токе включает батарейный двунаправленный инвертор для приема энергии с выходов переменного тока со способностью контролировать работу инверторов от генерации солнца, ветра и прилива.

Мощность батарейного инвертора должны быть равна или больше суммарной мощности всех инверторов, подключенных к его выходу, при отсутствии в сети нагрузки, вся вырабатываемая энергия от генерации направляется на заряд аккумуляторных батарей, у сетевого инвертора предусмотрен режим «off-grid» [1].

Электротехнический комплекс на переменном токе с применение сетевых инверторов и контроллеров заряда постоянного тока в зависимости от распределения по мощности потребителей [1] обладает большей надежностью и меньшим сечением проводниковой продукции.

### **Литература**

1. **Григораш О. М.** Автономные гибридные электростанции // Научный журнал КубГАУ, № 124 (10), 2016 года DOI: 10.21515/1990-4665-124-095

*М. А. Пронин, студ.;*  
*рук. Д. В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ТООГРАНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ КАТКОНА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Снижение значений токов короткого замыкания (КЗ) в распределительных электрических сетях позволяет снижать капитальные затраты и ущерб, создаваемый аварийными режимами [1]. Одним из способов решения задачи ограничения значений токов КЗ является применение токоограничивающих устройств (ТОО) [2]. Однако существующие технические решения представляются очень сложными или достаточно дорогими. В этой связи актуальным направлением является создание ТОО простого конструктивного исполнения с более приемлемыми массогабаритными показателями. Таким образом, целью настоящей работы является анализ возможности создания резонансного ТОО на базе гибридного индуктивно-емкостного элемента каткона (катушки-конденсатора) с улучшенными технико-экономическими показателями [3] для распределительных электрических сетей 0,4–6 (10) кВ.

В работе проведён обзор и сравнение существующих способов и технических решений по ограничению токов КЗ в распределительных электрических сетях, выявлены их преимущества и недостатки, установлена и обоснована практическая возможность создания ТОО на базе каткона с улучшенными массогабаритными показателями, предложена дополненная математическая модель для анализа установившихся и режимов однофазного и трехфазного ТОО на базе каткона, осуществлено компьютерное моделирование режимов его работы.

Полученные результаты позволяют развить математический аппарат для расчёта и анализа режимов работы ТОО на базе каткона.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00730А.*

### **Литература**

1. **Анчарова Т. В., Гусева Н. Н.** Оптимизация токов короткого замыкания с учётом требований по качеству электрической энергии // М., Издательство МЭИ, 2017. 40 с.
2. **Патент RU 124990 U1.** Шунтирующий токоограничитель // Змиева К. А., Хайро Д. А., Шульга А. Р., ФГБОУ ВПО «МГТУ «СТАНКИН». № 2012130814/07; заявл. 19.07.2012; опубл. 20.02.2013. Бюл. № 5.
3. **Butyrin P. A., Gusev G. G., Mikheev D. V., Shakirzianov F. N.** Coil-Capacitor As A Basis For Creating Efficient Devices For Distribution Power Networks // Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems — NEIS 2018. September 20–21, 2018, Hamburg, Germany. pp. 173–178.



*И. К. Муругов, А. А. Семеренко, М. В. Володарский, студенты;  
рук. Ю. В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТОЙ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ**

Возрастающие требования потребителей к экономичности, надежности и качеству энергоснабжения запускают очередной этап развития Энергосистемы России и ставят вопрос о переходе от централизованной системы электроснабжения к распределённой интеллектуальной энергетике. Для многих коммерческих и промышленных организаций этот вопрос уже решился в пользу создания собственной малой генерации, синхронно работающей с электрической сетью, что позволило осуществлять гибкое регулирование мощности согласно потребностям и может привести к сокращению затрат на электроэнергию до 20% [1].

Параллельная работа распределённой малой генерации и централизованной энергосистемы усложняет задачи управления режимами в связи с чувствительностью малоинерционных генерирующих установок к внешним воздействиям и, как следствие, их частому отключению, но обеспечивает надежное электроснабжение потребителей, а также повышение экономической эффективности ТЭС за счет выравнивания нагрузки и выдачи избытков мощности во внешнюю сеть [2].

Одним из наилучших технических решений, обеспечивающим режим параллельной работы, является присоединение к электрической сети активного энергетического комплекса (АЭК) на базе синхронной малой распределённой электростанции с использованием автоматики опережающего сбалансированного деления (ОСДЗ) системы по связям с внешней сетью при нарушениях нормального режима с переходом в островной режим работы с последующим автоматическим восстановлением синхронизма и нормального режима с требуемой загрузкой оборудования [3].

### **Литература**

1. **Чаусов И. С., Бокарев Б. А., Сидорович В. А.** Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микрогридам в России // Инфраструктурный центр EnergyNet. 2020. 58 с.
2. **Марченко А. И., Денисов В. В., Мурашкина И. С.** Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью // Научный вестник НГТУ. 2019. № 1 (74). — С. 77–90.
3. **Фишов А. Г., Марченко А. И., Ивкин Е. С., Семендяев Р. Ю.** Автоматика опережающего деления в схемах присоединения малой генерации к электрической сети // Релейная защита и автоматика энергосистем. 2017. 9 с.

*М. Е. Малыш, асп.; рук. Ю. В. Матюнина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕНОСА НАГРУЗКИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ЧАСЫ С НАИМЕНЬШИМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ**

В настоящее время разрабатываются и апробируются механизмы управления спросом на электроэнергию [1, 2]. Необходимо оценить целесообразность переноса нагрузки для промышленных предприятий.

В исследовании использовались суточные почасовые графики нагрузки предприятия. Принимается, что оплата потребления электроэнергии предприятием ведется по третьей ценовой категории. В расчетах учитывается только ставка за электрическую энергию предельного уровня нерегулируемых цен, так как ставка за мощность, приобретаемую потребителем, является постоянной величиной, оплачиваемой один раз в месяц.

На первом этапе для каждого дня рассматриваемого месяца принимался перенос нагрузки в объеме 20% от реального потребления в рассматриваемый час. Для каждого из дней выбиралось от трех до пяти часов с наибольшим потреблением, с которых планировалось перенести нагрузку (чаще всего с 12:00 до 16:00), на часы с наименьшим потреблением (чаще всего с 4:00 до 9:00).

При переносе нагрузки на 20% экономия по сравнению с реальным графиком нагрузки невелика. Диапазон изменения значения экономии за день в процентах варьируется от 0,3 до 0,9%.

На следующем этапе исследование проводилось при изменении нагрузки на 30 и 40% от реального потребления. Эффект от переноса нагрузки на 40% вырос практически в 2 раза. Диапазон изменения значения экономии за день вырос и составил от 0,7 до 1,7%.

Данное исследование показывает, что для получения существенной экономии необходимо переносить нагрузку в значительных объемах на утренние или ночные часы, когда стоимость электроэнергии минимальна. Однако получаемый эффект явно недостаточен для заинтересованности предприятия в изменении режима работы.

Целесообразно будет рассмотрение переноса нагрузки при оплате потребления электроэнергии по четвёртой ценовой категории, так как будет учитываться не только экономия по оплате электроэнергии, но и по оплате мощности и передаче электроэнергии. В таком случае необходимо оценивать выгоду от переноса нагрузки в целом за месяц.

### **Литература**

1. **Постановление Правительства РФ** № 287 от 20.03.2019 г.
2. **Постановление Правительства РФ** № 1178 от 13.11.2019 г.

*А. С. Дмитриевский, А. В. Палаев, Д. В. Шлаферов, студенты;  
рук. М. А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СВЕТОДИОДНЫЕ УЛИЧНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ С СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ**

Одной из наиболее успешных инновационных технологий в сфере освещения является использование светильников с применением солнечных батарей. Основными элементами такого светильника, основываясь на [1], выделим солнечную батарею (или панель), аккумулятор, источник света, корпус, контроллер (выключатель), опору светильника.

Достоинствами такого освещения можно считать автономность, компактность, экономичность, электробезопасность, экологичность, простота монтажа. Также применение солнечных батарей для электроснабжения светодиодных светильников позволяет оградить сеть от попадания в нее высших гармонических составляющих напряжения.

Для оценки возможности применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения светильников необходимо проводить энергетическую оценку. Возможность установки светильника с солнечной батареей зависит от следующих факторов: уровня солнечной радиации, количества солнечных дней в году и продолжительности освещения системы в ночное время. Все эти показатели напрямую связаны с географической широтой и климатическими условиями.

Приведем значения солнечной инсоляции и продолжительности солнечного сияния в году для некоторых регионов нашей страны в табл. 1.

**Таблица 1.** Энергетические параметры

<b>город</b>	<b>количество солнечных часов/дней</b>	<b>минимальное значение солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup></b>	<b>максимальное значение солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup></b>
Хабаровск	2449/102	141	643
Улан-Удэ	2797/117	94	645
Астрахань	2410/100	90	731
Сочи	2177/91	117	732

Указанные в таблице регионы имеют схожие параметры с городами Крыма, где уже нашли успешное применение светильники на солнечных батареях. Также, анализируя энергетические характеристики приведенных городов и паспортные данные рассматриваемых источников освещения, можно утверждать о целесообразности установки последних в приведенных городах.

### **Литература**

1. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами. М.: Мир, 1988.

*А. М. Кузнецова, А. Е. Тамаровский, асп.;*  
*рук. М. Е. Вихров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Быстрый рост электронной нагрузки способствовал тому, что низковольтные распределительные сети постоянного тока (НРСПТ) стали восприниматься как эффективное решение для электроснабжения дата-центров, коммерческих построек, уличного освещения, сетей общего пользования. НРСPT также являются более предпочтительным вариантом при присоединении возобновляемых источников энергии.

Переоборудование существующих сетей переменного тока в сети постоянного тока является серьезной проблемой, один из аспектов которой — отсутствие решений по эффективной защите, что позволило бы сделать новые комбинированные системы переменного-постоянного тока безопаснее и надежнее. Появление новых электронных преобразователей из переменного в постоянный ток провоцирует возникновение новых форм коротких замыканий с различными характеристиками.

Рассмотрим причины высокой сложности исполнения надежных и селективных защит НРСPT. Во-первых, защита должна обладать высокой скоростью действия, так как исследования показывают, что переходной ток короткого замыкания может достигать значения, в 35 раз превышающего ток стационарного режима менее чем за 4 мс [1].

Во-вторых, защита должна обладать способностью локализации короткого замыкания постоянного тока, так как сравнительно низкое значение импеданса этих сетей может стать причиной усложнения локализации места замыкания, что приведет к очень быстрому нарастанию тока замыкания.

Одна из ключевых проблем — прерывание постоянного тока короткого замыкания ввиду отсутствия точки пересечения нулевой отметки тока, в отличие от сетей переменного тока, что приводит к увеличению габаритных размеров выключателей и усложнению методик гашения дуги.

К тому же защиты должны обладать способностью противостоять возмущениям напряжения постоянного тока (например, быстрому падению напряжения, спровоцированному коротким замыканием на фидере; перенапряжениям, вызванным замыканием линии постоянного тока на землю).

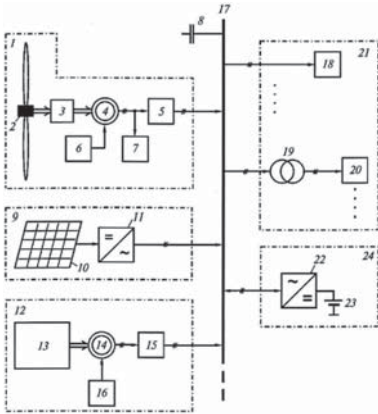
Анализ показал, что существующие вышеперечисленные проблемы должны быть решены путем создания быстродействующей высокоселективной защиты, устойчивой к возмущениям напряжения постоянного тока и разработки улучшенной методики гашения дуги постоянного тока.

### **Литература**

1. **Emhemed A. S.** Validation of fast and selective protection scheme for an LVDC distribution network // IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, vol. 32.

*М. И. Мальсагов, А. Р. Эльбазуров, аспиранты;  
рук. Г. Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПЕРЕХОД К ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА



**Рис. 1.** Схема гибридной электростанции с непосредственным подключением генерирующих установок к распределительной сети объекта электроснабжения

Анализ состояния энергетики различных регионов Северного Кавказа показал, что инфраструктура электроэнергетики морально устарела и физически изношена, требует модернизации и реструктуризации, поскольку принятая модель электроснабжения требует огромных эксплуатационных затрат и высоких потерь передаваемой мощности. Частые перерывы электроснабжения и несоответствия параметров качества электроэнергии тормозит рост валового продукта регионов и социально-экономическую занятость населения [1].

Резюмируя выше сказанное, делаем вывод о необходимости перехода к новой технологической парадигме в электроснабжении регионов Северного Кавказа, которая объединит производителей и потребителей электроэнергии в одну экосистему, используя потенциал возобновляемых источников энергии [2].

1 — Ветроэнергетическая установка; 2 — ветротурбина; 3 — редуктор-мультипликатор; 4, 14 — синхронные электромашинные генераторы; 5, 15 — устройства плавного пуска; 6, 16 — регуляторы тока возбуждения синхронных генераторов; 7 — блок балластных нагрузок; 8 — компенсатор реактивной мощности; 9 — фотоэлектрическая установка; 10 — солнечная панель; 11 — импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное; 12 — дизель-генератор; 13 — дизельный двигатель; 17 — шина переменного тока; 18 — потребители; 19 — силовой повышающий трансформатор; 20 — потребители 6 (10) кВ; 21 — объект децентрализованного электроснабжения; 22 — двунаправленный преобразователь переменного напряжения в постоянное; 23 — блок аккумуляторов; 24 — буферный накопитель электроэнергии.

### Литература

1. Хузмиев И. Информационные технологии — инфраструктура четвертой промышленной революции // Россия: тенденции и перспективы развития. — 2017. — № 2. — С. 274–277.
2. Григораш О.В. Автономные гибридные электростанции [Электронный ресурс] / О.В. Григораш, А.А. Кривошей, В.В. Смык // Научный журнал КубГАУ. — 2016. — № 124 (10). — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/10/pdf/95.pdf>

*А. Е. Тамаровский, А. М. Кузнецова, аспиранты.;  
рук. М. Е. Вихров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ИЗ НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Само понятие литий-ионных батарей включает в себя множество подвидов данных батарей, которые имеют различные особенности конструкций, химические составы и технические параметры. При различной внутренней конструкции большинством производителей используются общие стандарты типоразмеров аккумуляторов.

Компании, занимающиеся производством ИБП, при отсутствии собственного производства аккумуляторных батарей, создают свои аккумуляторные батареи из стандартных типоразмеров аккумуляторов. Выбор используемых типоразмеров аккумуляторов происходит по множеству параметров, среди которых физические характеристики, стоимость, надежность и другие. Но далеко не всегда математически просчитывают на каких именно типоразмерах это делать выгоднее, в каком количестве брать стандартные аккумуляторы, в какую структуру их превращать. Тем самым необходима простая и удовлетворяющая разным схемам методика расчета, чему стоит посвятить дальнейшие разработки.

Одним из направлений работы будет математическое установление зависимости наработки на отказ от числа последовательно соединённых аккумуляторов. Аккумуляторные батареи, используемые в промышленных статических ИБП, имеют номинальное напряжение кратное 12 В [1], которое получается путем последовательного соединения единичных аккумуляторов. Конструкция подобных аккумуляторных батарей имеет большой недостаток, связанный с тем, что в случае неисправности одного малого аккумулятора вся аккумуляторная батарея выходит из строя. А при увеличении количества единичных аккумуляторов снижается наработка на отказ всей аккумуляторной батареи.

Результатом данного исследования должна стать упрощенная математическая формула, позволяющая рассчитать, после какого числа единичных аккумуляторов дальнейшее увеличение их количества в аккумуляторной батарее будет не целесообразно по экономическим показателям. Математическое определение оптимального количества единичных герметичных необслуживаемых литий-ионных аккумуляторов даже в некотором диапазоне значений может иметь ощутимый экономический эффект.

### **Литература**

1. ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) Напряжения стандартные.

*Е. Д. Записочный, студ.;*  
*рук. М. А. Кулага, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ФКУ, СТК И СТАТКОМ**

Наличие в сети электроснабжения объекта нагрузки с нелинейными вольтамперными характеристиками вызывает снижение качества электроэнергии и следствием этого является экономический ущерб.

Снижение уровней высших гармоник (ВГ) в электросетях — одна из общих задач, в целях уменьшения влияния нелинейных нагрузок на питающую сеть. Проведя анализ технических решений задачи по данному вопросу, можно сделать следующие выводы:

1. Решить данную проблему можно с помощью многофункциональных устройств (фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ), статический тиристорный компенсатор (СТК), статический компенсатор (СТАТКОМ)).
2. Для комплексного улучшения качества электроэнергии и динамической компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения электросталеплавильных печей следует устанавливать СТК. В настоящее время доля СТК среди компенсирующих устройств, установленных в системах дуговых печей высокой и средней мощности, составляет 90% [1].

Было экспериментально зарегистрировано [2], что при помощи использования СТК увеличился коэффициент мощности нагрузки с 0,7 до 0,97, снизились колебания напряжения питающей сети в 3 раза, уменьшилось время одной плавки металла со 150 мин до 130 мин, удельный расход электроэнергии на тонну выплавляемой стал меньше на 4%, а также сократился расход графитовых материалов.

Эффективность применения такого средства компенсации заключается в выгоде на сокращении производственных расходов, в увеличении срока службы оборудования, улучшении производственных показателей, снижении расходов на оплату потерь активной электроэнергии в трансформаторе. Установка СТК позволяет улучшить показатели выпускаемой продукции, стабильности работы завода и снизить как дозу фликера, так и коэффициенты искажения синусоидальности кривой.

### **Литература**

1. **А. А. Николаев, В. В. Анохин, В. С. Ивекеев.** Повышение эффективности работы электродуговых печей за счет применения новых алгоритмов управления реакторной мощностью статических тиристорных компенсаторов. — Магнитогорск, 2018.
2. **Брошюра АBB.** SVC Компенсатор реактивной мощности СТК — ключ к повышению экономичности дуговых печей, 2010 // URL: <https://clck.ru/SPxUD>.

*А. О. Кузьменко, студент;  
рук. М. Е. Вихров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ КВАРТИРЫ**

Российская система тарифов на электроэнергию состоит всего из двух видов тарифов для бытовых потребителей: одноставочного недифференцированного и дифференцированного по зонам суток. Хотя переход на дифференцированный тариф позволяет существенно сгладить график электрической нагрузки, такая система не является совершенной и не даёт максимального эффекта от перехода на более сложный тариф.

В данной работе показано, что равномерного распределения нагрузки системы в течение дня или года можно добиться с помощью разных видов тарифов. Проанализированы тарифные системы США, Канады, Австралии, ОАЭ, Японии и Великобритании. Одни тарифы способствуют смещению нагрузки с максимумов на менее загруженные часы, другие — ограничению максимальной нагрузки, третьи — заполнению ночных провалов. Но вкуче все эти тарифы, образуя одну систему, способны привести график нагрузки к более равномерному виду [1].

Также в работе проанализирована целесообразность использования аккумулятора с целью экономии затрат на электроэнергию при переходе на дифференцированный тариф. В качестве исходных данных взяты показания потребляемой мощности для некоторого присоединения бытового потребителя, снимаемые ежеминутно прибором ЭРИС-КЭ.02. Рассчитан срок окупаемости аккумуляторного оборудования при переходе с однозонного тарифа на дифференцированный при условии, что аккумулятор заряжается по ночам и вся запасенная в нем энергия используется в течение дня. В результате выявлено, что аккумулятор небольшой мощности не окупается за свой срок службы, а более мощный аккумулятор окупается к концу срока службы, то есть при его использовании потребитель не получит выгоду. Таким образом, действующая тарифная система России не способна стимулировать потребителей использовать накопители энергии, значительно выравнивающие график нагрузки. Решением этой проблемы может служить введение льготных тарифов для владельцев аккумуляторных батарей или предоставление на них скидок.

### **Литература**

1. **Яркин Е. В., Папян С. К., Ткаченко С. А.** Тенденции в тарифной политике зарубежных стран // Энергохозяйство за рубежом. 1980. № 4.



*А. И. Куликов, студ.; рук. С. А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА НЕДОПУСТИМОГО ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

Широкое внедрение энергосберегающих источников света, электронного оборудования с импульсными источниками питания, частотно регулируемых приводов в современных электросетях создает предпосылки для роста уровней высших гармоник (ВГ) напряжения, негативно влияющих на работу электрооборудования [1]. Для поддержания допустимых уровней качества электроэнергии проводятся исследования гармонического состава напряжения, включающие определение источников ВГ и их вкладов в общий уровень искажений.

Для нахождения источников искажения напряжения автором на основе ранее выполненных измерений [2] предлагается использовать источник эталонной помехи. Преимущества предлагаемого метода в сравнении с существующими заключаются в использовании специального генератора помехи, регулирующего гармонический состав и амплитуду помехи, поддерживая их на безопасном для сети уровне. Это не всегда возможно при использовании конденсаторных батарей или трансформаторов, коммутация которых создает неуправляемый переходной процесс.

Суть метода заключается в проведении измерений в различных узлах сети: сначала в нормальном режиме работы, а потом в режиме при подаче помехи. При этом происходит мгновенное измерение кривых напряжения и тока и сравнение их спектров, с определением разницы значений. В качестве источника питания, обладающего программируемыми параметрами задания помех, автором был использован лабораторный источник питания компании Ametek, имеющий встроенный анализатор, с возможностью подключения от 1 до 3-х фаз мощностью до 15 кВА. Устройство находится на кафедре «Электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий», которая располагает также типовым набором нелинейных электроприборов, который позволяет организовать опыты по изменению вклада в искажения напряжения. Данным измерениям будут посвящены дальнейшие исследования.

### **Литература**

1. **С. А. Цырук, С. А. Янченко.** Компенсация высших гармоник тока при питании групп бытовых нелинейных электроприемников, Промышленная энергетика, № 1, 2014.
2. **Е. А. Булычева, С. А. Янченко.** Анализ современных методов определения фактического вклада потребителей в общий уровень несинусоидальности напряжения электрической сети, Промышленная энергетика, № 6, 2019.

**Секция 33**  
**ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ**  
**Energy of heat technologies**

---

*Председатель секции:*

*к. т. н., доцент Степанова Татьяна Александровна*

*Секретарь секции: Екимова Виктория Алексеевна*

*П. И. Пысина, студ.;*  
*рук.: И. М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЛПУ**

Отходы являются источниками загрязнения окружающей среды в глобальном масштабе, и образуются, как неизбежный результат потребительского отношения и низкого коэффициента использования ресурсов. И если от большинства отходов еще можно относительно безопасно избавиться, то некоторые их виды, как например, медицинские отходы лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), подлежат обязательной переработке и обезвреживанию.

На начало 2020 года, объем отходов ЛПУ составлял в 2–3 раза больше, чем за прошлые годы. А с марта этого года на фоне вспышки нового вируса COVID-19 этот показатель значительно вырос и пока не поддается исчислению.

СанПиН 2.1.7.2790-10 является одним из тех документов, который разделил медицинские отходы на 5 классов по уровню их опасности, что облегчает процесс сбора и утилизации этих отходов [1].

Тщательный сбор отходов, их транспортировка, обезвреживание и обязательная предварительная дезинфекция такими методами, как стерилизация, микро-волновая обработка и т.д. — являются важными требованиями по утилизации опасных медицинских отходов [1].

Существует три основных технологии утилизации отходов ЛПУ: сжигание, пиролиз и обработка с помощью плазмы. Нами выбрана технология высокотемпературного обезвреживания отходов ЛПУ во вращающейся печи.

Термическое обезвреживание медицинских отходов производится в рабочей камере вращающейся печи, где на выходе образуется зольный остаток и отходящие газы, с температурой 1000°C. Далее дымовые газы последовательно поступают в камеру дожигания, воздухоподогреватель, испарительный скруббер, рукавный фильтр и при помощи дымососа через дымовую трубу удаляются в атмосферу. Применение такой технологической схемы позволяет добиться минимального количества выбросов вредных веществ.

### **Литература**

1. **СанПиН 2.1.7.2790-10** «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами».

*В. Д. Ванюшкин, соиск.;  
рук. С. К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ ШИН**

Утилизация отходов автомобильных шин может осуществляться путем низкотемпературного пиролиза в непрерывно действующих установках с получением товарных продуктов — жидкой фракции и твердого коксового остатка. При создании таких установок охлаждение выгружаемого коксового остатка может стать фактором, лимитирующим весь технологический процесс. Экспериментально подтверждено выгорание мелкодисперсного коксового остатка при температуре около 600°C и выше [1]. Для поиска эффективных способов охлаждения необходимо знать его теплофизические свойства и, в частности, теплопроводность.

С целью решения данной задачи разработан и реализован расчетно-экспериментальный метод (РЭМ), состоящий из экспериментального исследования процесса охлаждения и его математического моделирования. Создана экспериментальная установка и проведена серия исследований процесса охлаждения мелкодисперсного коксового остатка, полученного в промышленной пиролизной установке (вращающейся барабанной печи). Разработана математическая модель экспериментальной установки, посредством которой, решая обратную задачу теплопроводности, определяется температурная функция теплопроводности коксового остатка.

Выполнена параметрическая идентификация математической модели путем последовательного решения следующих задач:

- систематизация данных по температурной зависимости теплопроводности шамотного легковеса ШЛ-0,4 с целью выявления достоверных сведения по этой зависимости и рассмотрения ее как эталонной —  $\lambda_{\text{эталон}}(t)$ ;
- выполнение экспериментального исследования процесса охлаждения ШЛ-0,4 в измерительной камере;
- выполнение расчетного исследования и установление посредством РЭМ температурной зависимости шамотного легковеса ШЛ-0,4 —  $\lambda_{\text{РЭМ}}(t)$ ;
- на основе сопоставления зависимостей  $\lambda_{\text{эталон}}(t)$  и  $\lambda_{\text{РЭМ}}(t)$  выполнение параметрической идентификации математической модели, используемой в РЭМ.

Полученные результаты позволяют перейти к созданию теплообменника-охлаждителя коксового остатка.

### **Литература**

1. **Ванюшкин В. Д.** Экспериментальное исследование процесса охлаждения продуктов пиролиза отходов шин / В. Д. Ванюшкин, С. К. Попов, И. Н. Свистунов // Инженерно-физический журнал. 2020, Т. 93, № 2 (март-апрель). с. 398–402.

*А. А. Валинеева, И. Н. Свистунов соиск.;  
рук. И. Н. Свистунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОМАССЫ МЕТОДОМ ТОРРЕФИКАЦИИ**

Авторами проведен обзор и анализ исследований в области торрефикации биомассы, рассмотрены способы ее обработки для использования в качестве топлива, произведено сравнение свойств торрефицированных и неторрефицированных пеллет, изучены технологии торрефикации.

Торрефикация — это термохимический процесс пиролиза биомассы при медленном нагреве с выдержкой при температуре 200–300°C с целью получения твердого углеродсодержащего продукта — пеллетов. Торрефицированные пеллеты имеют достаточную теплоту сгорания, низкую гигроскопичность, высокую насыпную плотность и хорошую измельчаемость. Перспективными направлениями энергетического использования биоугля являются: совместное сжигание с углем в пылеугольных горелках, сжигание в пеллетных котлах, пиролиз и газификация торрефицированной биомассы.

В данном исследовании авторами изучено влияние режимных параметров процесса торрефикации — температуры и длительности — на свойства твердого продукта: элементарный состав, высшую теплоту сгорания, МУ (массовый выход), ЕУ (энергетический выход), гидрофобность, структуру волокон. Исходя из поставленных задач, ведется поиск универсальной эмпирической связи между элементарным (ultimate), приближенным (proximate) составами и высшей теплотой сгорания. Проведенный авторами анализ показал, что торрефицированные образцы с одинаковым МУ имеют близкие значения перечисленных свойств при любых режимных параметрах процесса. На этой основе предложено рассматривать массовый выход МУ как основной показатель эффективности процесса торрефикации [1]. В ходе работ подтвердилось, что понижение отношений Н/С и О/С при торрефикации приводит к сдвигу на диаграмме Ван Кревелена в область левого нижнего угла, что означает приближение торрефиката по топливным свойствам к бурым углям [2].

### **Литература**

1. **Grigiente M., Antolini D.** Mass yield as guide parameter of the torrefaction process. An experimental study of the solid fuel properties refer a red to two types of biomass // *Fuel*. 2015. V. 153. Pp. 499–509. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.025>
2. **García R., Pizarro C., Antonio G., Lavín Antonio G., Bueno Julio L.** Biomass sources for thermal conversion. Techno-economical overview // *Fuel*. 2017. V. 195 182–189. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.063>

*В. А. Кожевников, соиск.; рук. С. К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В КАЧЕСТВЕ КОТЕЛЬНО-ПЕЧНОГО ТОПЛИВА**

Отработанные нефтепродукты (ОНП) являются ценным энергетическим ресурсом, который может быть эффективно использован как котельно-печное топливо. В этой связи представляется актуальной задача разработки нормативной базы для использования ОНП в качестве топлива на объектах промышленной тепло- и электроэнергетики. В работе [1] сформулированы организационно-технические аспекты, которые следует принимать во внимание при решении указанной задачи.

В исследованиях авторов [2] рассмотрена взаимосвязь теплотехнических и экологических параметров теплогенераторов на отработанных нефтепродуктах. Впервые предложен и определен количественно нормативный коэффициент в качестве меры экологичности работы топливопотребляющей установки, который связывает массовую концентрацию исходного загрязнителя (галогенов) в ОНП и тепловую мощность топливопотребляющей установки:  $K_{норм} = 600 \text{ ppm-MВт}$ .

Исследование таких параметров факела, как длина (калибр) и температура горения ОНП, в сопоставлении с осредненными характеристиками исходных ОНП позволило выявить зависимость низшей теплоты сгорания от вязкости топлива. Установлена зависимость разрешенного объема единовременного хранения ОНП как топлива от содержания галогенов, выраженная в произведении массы ОНП (тонн) на нормируемую концентрацию галогенов (ppm). Величина данного произведения  $K_V = 10\,000 \text{ т}\cdot\text{ppm}$ .

Результаты исследований составляют основу для разработки нормативного документа, устанавливающего технические условия для использования котельно-печных топлив из ОНП.

### **Литература**

1. **Кожевников В. А.** Энергоэффективное использование отработанных нефтепродуктов как топлива / В. А. Кожевников, С. К. Попов. — Вестник МЭИ. 2020. № 2. С. 42–51.
2. **Кожевников В. А.** Эффективность применения автономных теплогенераторов на отработанных нефтепродуктах / В. А. Кожевников, С. К. Попов, И. В. Яковлев. — Промышленная энергетика. 2020. № 6. С. 44–52.

А. С. Попов, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПЕРФОРИРОВАННЫЙ ПОД И ПРОИЗВОДСТВО САЖЕВОДОРОДНОЙ СМЕСИ В РАСПЛАВЕ БАЗАЛЬТА

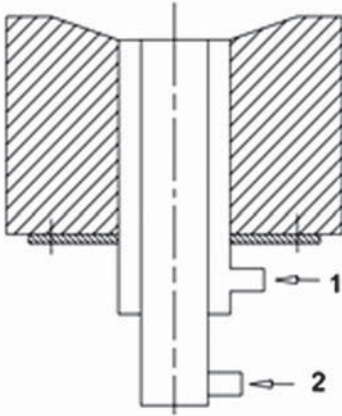


Рис. 1. Схема фурмы.  
1 — природный газ;  
2 — окислитель.

В настоящее время многие отрасли промышленности характеризуются чрезмерным и неэффективным потреблением энергетических ресурсов, это непосредственно сказывается на конечной стоимости продукции и имеет негативное влияние на состояние окружающей среды.

Важным является разработка погружных горелок для предложенного на кафедре ЭВТ реактора (RU 2695188 C03B опубликовано 22.07.2018) с перфорированным подом, позволяющим организовать барботаж расплава и достичь увеличения производительности. Данный тип горелки позволит снизить тепловые потери через ограждение [1] и получать углеводородную смесь непосредственно на выходе из сопла горелки.

За основу был взят способ донной продувки, применяемый в конвертерной плавке стали. Фурма состоит из двух концентрически расположенных труб (рис. 1) [2]. Под влиянием высоких температур около 1000 градусов по Цельсию углеводороды  $C_xH_y$ , поступающие через щель между внутренней и внешней трубами, разлагаются на углерод  $xC$  и водород  $y/2H_2$ , поглощая тепло  $Q$  (1):



Техническая задача, решаемая предполагаемым устройством, состоит в том, чтобы минимизировать расход природного газа на плавление материала, за счет применения барботажа расплава и получение сажеводородной смеси.

### Литература

1. Нешпоренко Е. Г., Картавец С. В. Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. — 153 с.
2. <http://metal-archive.ru/konvertternye-processy/554-shema-kislorodno-konvertterного-processa-s-donnoy-produvkoy.html>

*Д. А. Скрипин, студ.;*  
*рук. П. В. Хорева, ассистент каф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В РФ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Современный стратегический принцип экономии энергетических ресурсов может быть сформулирован так: общество на целом ряде кризисных ситуаций прочувствовало, что энергоресурсы имеют критическое значение не только для поддержания и улучшения качества жизни, но и для обеспечения независимости и безопасности страны. И ввиду ограниченных запасов энергетических ресурсов многие страны Западной Европы активно внедряют технологии, способствующие сокращению их потребления, проводят исследовательскую работу, направленную на поиск альтернативных источников энергии и сохранения имеющихся природных богатств [1].

Рассмотрев опыт энергетической политики ЕС в области энергоэффективности, авторы выделили ключевые моменты с целью заимствования опыта для применения в Российской Федерации, а именно:

1. Принятие целевых показателей по энергоэффективности.
2. Обязательные требования к энергоэффективности при государственных закупках.
3. Введение энергоаудита для крупных компаний и производств.
4. Реконструкция зданий, с целью повышения энергоэффективности.
5. Широкое применение энергетической маркировки продукции.
6. Введение обязательств финансирования мер по энергосбережению для энергопредприятий.
7. Введение запрета на реализацию любых товаров, не отвечающих нормам энергоэффективности [2].

Кроме того, при анализе энергоэффективности необходимо учитывать не только вышеописанные показатели, но и такие, как: структура экономики по секторам (например, наличие большой энергопотребляющей промышленности); размеры страны (большее потребление со стороны транспортного сектора); климат (большее потребление на отопление или охлаждение); и обменный курс (особенно в условиях текущего кризиса).

### **Литература**

1. Научный портал об энергосбережении: <http://www.energsovet.ru/>.
2. **Кужелева К. С., Грачев Б. А.** Энергетическая политика ЕС в области энергоэффективности // Электронный журнал «Зеленая энергетика», № 1, 2018.



*Д. П. Хорошевская, студ.; рук. С. К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RDF НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПАРОГАЗОВЫМ ЦИКЛОМ**

В России ежегодно образуется более 2,1 млрд тонн твердых коммунальных отходов (ТКО). Эффективное использование этого значительного материального потока — актуальная экологическая и экономическая проблема. Перспективным направлением утилизации ТКО является их переработка в альтернативное твердое топливо RDF (Refuse Derived Fuel) с последующим его использованием для выработки электрической и тепловой энергии. Один из вариантов реализации данного направления — электростанция с парогазовым циклом и предварительной газификацией RDF.

На основе анализа литературных данных, а также разработок фирм «Sydkraft» и «Ahlstrom», сформирована тепловая схема ТЭЦ с парогазовым циклом и газогенератором, работающим на RDF при повышенных давлениях.

Разработана с учетом [1, 2] и исследована математическая модель газогенератора. Установлены зависимости режимных параметров процесса (состав, удельный выход и температура генераторного газа) от давления, поддерживаемого в газогенераторе.

На основе [3] разработана в среде Mathcad математическая модель парогазового цикла, позволяющая определить удельную выработку электроэнергии  $w$ , кВт·ч/(кг RDF), и тепловой энергии  $q$ , кДж/(кг RDF), направляемых внешним потребителям. Моделирование газотурбинной установки выполнено для условий ее работы на смеси двух топлив: генераторного газа и дизельного топлива.

Общая математическая модель ТЭЦ с парогазовым циклом и газогенератором, работающим на RDF, дает возможность исследовать зависимости  $w$  и  $q$  от давления в газогенераторе, вида окислителя, используемого в процессе газификации, и других параметров тепловой схемы. Результаты исследования могут быть использованы при выборе вариантов энергоэффективной утилизации твердых коммунальных отходов.

### **Литература**

1. **Алешина А. С., Сергеев В. В.** Газификация твердого топлива: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 202 с.
2. **Попов С. К., Ипполитов В. А.** Процессы и установки газификации топлива. — М.: Изд-во МЭИ, 2016. — 48 с.
3. **Сазанов Б. В., Налобин Л. В.** Расчет тепловой схемы газотурбинных установок. — М.: МЭИ, 1974. — 84 с.

М. Ч. Кара-Сал, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК

За последние 30 лет индукционный нагрев развивался быстрее, чем другие электротермические процессы [1]. При индукционном нагреве происходит два типа преобразования энергии. Энергия источника энергии преобразуется в энергию магнитного поля, которая, поглощаясь электропроводящим зарядом, преобразуется в тепловую энергию и вызывает нагрев. Процесс основан на двух известных физических явлениях — электромагнитной индукции и эффекте Джоуля [2]. Высокая эффективность процесса нагрева равносильна энергосбережению, следовательно, к экономичности технологии. Для повышения эффективности процессов индукционного нагрева необходимо правильно выбрать частоту в соответствии с размерами загрузки и задачей нагрева. Обязательным элементом индукционной нагревательной установки является индуктор, по которому протекает первичный переменный ток.

Рассчитывается индуктор для нагрева заготовок 100x100x12000 мм. В процессе расчета определили основные размеры — 200x1100x12200 мм, напряжение на индукторе — 71,74 В, произвели выбор частоты — 500 Гц, размеров и числа витков индуктора — 21 вит [3].

Также начато математическое моделирование индуктора в программе SolidWorks.

Реализация предлагаемого способа иллюстрируется на рисунке [4]:

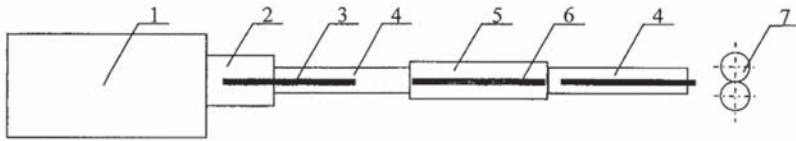


Рис. 1. Нагрев заготовок

### Литература

1. Васильев А. В., Антонова И. М., Иши В. В., Блинов Ю. И., Трусов А. О., Буканин А. Б., Чмиленко Ф. В., Дзлиев С. В., Позняк И. В., Печенков А. Ю. Экономика в электроэнергетике и энергосбережение посредством рационального использования электротехнологий. СПб.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Демидович В. Б. Теория, исследование и разработка индукционных нагревателей для металлургической промышленности. СПб.: 2002.
3. Слухоцкий А. Е. и Рыскин С. Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л., «Энергия», 1974.
4. Строгонов К. В., Носов А. Д., Бирюков А. В. Патент «Способ нагрева заготовок на сортовых и проволочных станах». 2010.

*Д. В. Прокофьева, студ.;*  
*рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТА**

За последнее время существенно увеличился объём изделий из композитных материалов, в т. ч. из базальтового волокна [1].

Энергоэффективность существующих печей объясняется в т. ч. низкой скоростью плавления, циклонные реакторы позволяют существенно интенсифицировать тепловые процессы [2].

В данной работе были поставлены задачи:

1. Рассчитать циклон для плавления базальта по известным методикам. В расчётах принято, что в плавильный циклон подается базальт с расходом 1,79 кг/ч с диаметром частиц ( $d$ ) 2 мм, который нагревается с помощью сжигания природного газа, при этом расчётный расход природного газа в соответствии с рассчитанным тепловым балансом составляет 1485 м<sup>3</sup>/с;



Рис. 1. Модель реактора

2. Построить в программном комплексе ANSYS математическую модель рассчитанного реактора (рис. 1) для дальнейшего рассмотрения теплового напряжения в этом реакторе при плавлении базальтового волокна, чтобы оценить эффективность циклонного плавления используемого материала. Размеры реактора для построения принимались исходя из расчета: длина реактора ( $L$ ) составила 3,765 м, из которых длина зоны сепарации ( $L_{\text{сеп}}$ ) равна 1,58 м, при диаметре ( $D$ ) принятом равным 2 м. Расчётным путем было установлено время сепарации ( $\tau_{\text{сеп}}$ ) в значении 0,367 секунды.

### **Литература**

1. **«Композитный мир»** // ООО «Издательский дом «Мир Композитов» [Журнал]. Москва, 2019 г. — стр. 36.
2. **Сидельковский Л. Н.** Разработка и исследование циклонных энерготехнологических процессов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 1971.

*Д. В. Бекназарян, соиск.;  
рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ И КОНФИГУРАЦИИ БОКОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ЗА ПЕРИОД КАМПАНИИ**

Одним из значимых факторов, определяющих продолжительность кампании стекловаренной печи, является срок службы бокового ограждения. Данный элемент подвергается воздействию, как продуктов сгорания топлива, так и высокотемпературного расплава стекломассы, что делает термические напряжения в нём сопоставимыми с главным сводом печи и горелочными влётами. Однако из-за необходимости интенсификации процесса тепломассообмена в объёме варочного бассейна снижение максимальной температуры варки недопустимо, а скорее наоборот имеется тенденция к постепенному её повышению. В этой связи для снижения уровня тепловых потерь в окружающую среду при сооружении современных высокопроизводительных агрегатов применяется высокоэффективная тепловая изоляция бокового ограждения.

На базе программного продукта Ansys на языке APDL составлена программа [1] для решения квазистационарной задачи расчёта скорости коррозии теплоизолированного огнеупорного бруса бокового ограждения стекловаренной печи в двумерной постановке при условии принудительного воздушного охлаждения наружной поверхности огнеупора с момента выхода на номинальный режим до момента останова печи по достижении минимально допустимой толщины огнеупорного бруса.

Результатами работы программы являются как скорость коррозии огнеупорного бруса (мм/сут) по глубине варочного бассейна [2], так и время достижения минимальной (заранее заданной) толщины огнеупора, температурных полей в данном сечении ограждения, распределение плотности теплового потока.

### **Литература**

1. **Бекназарян Д. В., Кошельник В. М., Ларин А. А.** Алгоритм расчёта и исследование коррозионного износа боковых ограждений ванной стекловаренной печи // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* — 2014. — № 3/8. — С. 27–33.
2. **Бекназарян Д. В., Кошельник В. М., Ларин А. А.** Компьютерная диагностика температурного состояния и прогнозирование ресурса огнеупорной кладки варочной зоны стекловаренной печи с воздушным охлаждением // *Вісник НТУ «ХПІ».* — 2014. — № 28 (1071). — (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). — С. 24–34.

*И. И. Феоктистов, студ.; рук. С. Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗИФИКАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО СИНТЕЗ-ГАЗА**

В связи с глобальным потеплением и неизбежным истощением месторождений таких углеводородных топлив как нефти и природного газа перед мировой общественностью встает вопрос о поиске альтернативного источника топлива. Таким топливом может стать водород [1].

В настоящее время водородная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений. Водород имеет массу достоинств: он более энергоемок и его использование не создает вредных выбросов, что положительно сказывается на экологии. Так же для его использования можно модернизировать существующую инфраструктуру для природного газа. Однако перспективы водорода зависят от способности его получение в промышленных масштабах без выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу [2].

Известны следующие действующие способы получения водорода: электролиз воды, газификация угля и паровая конверсия природного газа.

В работе исследуется способ получения водорода газификацией различных видов конденсированного топлива. Конденсированное топливо в виде угля, твердых-коммунальных отходов, топлива RDF и др. является перспективным энергоносителем по причине своей распространенности. Процесс газификации представляет собой процесс частичного окисления, в результате которого горючие отходы преобразуются в синтез-газ. Перерабатываемое сырье загружается в реактор сверху через шлюзовую камеру. Снизу подаются воздух и водяной пар. Отбор продукт-газа происходит в верхней части реактора, а выгрузка зольного остатка — в нижней [3].

Расчет включает в себя определение таких параметров окислителя как коэффициент расхода окислителя, количество кислорода в окислителе, температура и количество водяного пара на массу топлива, при которых достигается содержание максимальной доли водорода в составе синтез-газа и определение необходимых размеров камеры газификации.

### **Литература**

1. **С. К. Попов, В. А. Ипполитов** Процессы и установки газификации топлива: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2016.
2. **Д. Ю. Гамбург, Н. Ф. Дубровкин** Водород. Свойства, получение, транспортирование применение: справочник. М.: Химия, 1989.
3. **Stefano Sigali**, Electricity from hydrogenwith combined cycles — The Fusina Project // BETTER-PRACTICE-EXCHANGE Potsdam (D), May 30, 2011

*В. М. Савчин, студ.; рук. И. М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УТИЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАГРЕВА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений увеличивается с каждым годом, что сопровождается и ростом количества экологически опасных радиоактивных отходов (РАО). Плазменная технология переработки отходов позволяет перерабатывать все основные виды РАО низкой и средней активности. Но переработка РАО с помощью плазменных технологий достаточно затратная, поэтому использование мероприятий, повышающих энергоэффективность процесса обязательна.

В работе рассматривается установка для переработки РАО с помощью плазменных источников нагрева. Установка состоит из печи шахтного типа с двумя плазменными горелками, камеры дожигания, котлов-утилизаторов, паротурбинной установки, рукавного фильтра, рекуперативного теплообменника. Оборудование установки позволяет совместно перерабатывать ЖРО и ТРО. Агрегатная нагрузка установки 750 кг ТРО и 250 л ЖРО в час.

Для оптимизации процесса, в установке используется теплота высокотемпературных отходящих газов для выработки пара в котлах-утилизаторах и в дальнейшем для выработки электроэнергии в турбине на собственные нужды производства.

Проведен анализ наиболее подходящего плазмообразующего газа для данного процесса. Рассмотрена проблема «загрязнения» элементов установки радионуклидами и меры необходимые для предотвращения этого.

Выполнен расчет элементного состава РАО. Составлен материальный и тепловой баланс печи и камеры дожигания, найдены удельные выходы компонентов пирогаза и теплота, выделяемая плазматронами, определена температура отходящих газов. Рассчитана зависимость удельного выхода компонентов горения из печи и необходимая теплота, выделяемая плазменными горелками для реализации процесса от коэффициента избытка воздуха. Выполнен расчет котла-утилизатора.

Подобрана турбина для выработки электроэнергии, рукавные фильтры, плазменные горелки.

Установка удовлетворяет все экологические требования при утилизации радиоактивных отходов. Концентрация вредных компонентов в отходящих газах не превышает допустимых значений.

*С. А. Осаякин, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КАМЕРНАЯ ПЕЧЬ БЕЗОКИСЛИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК**

Во время самого распространенного нагрева стали в печах с открытым пламенем газообразные компоненты, такие как  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $SO_2$ , при высоких температурах вызывают обезугливание и окисление поверхности заготовок или деталей. Одни только потери металла с окалиной достигают вплоть до 6% [1].

Поэтому проблема, связанная с окислением поверхностного слоя при нагреве стали, стала основной проблемой печей и требует решения.

На данный момент имеется несколько способов обеспечения безокислительного нагрева стали.

В данной работе рассматривается способ, в котором металл нагревается открытым безокислительным пламенем, за счёт неполного горения топлива с  $\alpha < 1$ . Этот способ не требует особой реконструкции нагревательной печи и обеспечивает хорошую производительность.

Для обеспечения безокислительного процесса необходимо, чтобы содержание кислорода и серы было приблизительно равно нулю. Наилучшим топливом в данном случае послужит природный газ, так как в нем не присутствует сера.

Во избежание сажеобразования и для достижения нужной температуры, необходимо тщательное перемешивание нагретых компонентов горения. Воздух до 1200–1300°K и газ до 700–800°K. Для этого в рабочей камере происходит неполное сгорание топлива, а отходящие продукты неполного сгорания дожигаются в специальном устройстве, потом отдают тепло в рекуператоры для подогрева воздуха и природного газа [2]. Эти устройства занимают довольно мало места и поэтому располагаются прямо над рабочей камерой. И только после этого охлажденные газы отсасываются дымососом и выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

За счет такого способа нагрева стальных заготовок, уменьшается износ валков и штампов, увеличивается качество поверхности деталей и уменьшается расход металла.

### **Литература**

1. **В. М. Тымчак** — Расчёт нагревательных и термических печей: Металлургия, 1983.
2. **Ю. В. Троянкин** — Методические указания к типовому расчёту по курсу «Промышленные огнетехнические процессы и установки»: Типография МЭИ.

*Т. Н. Чернова, студ.;*  
*рук. И. М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ НЕОРГАНИЗОВАННОЙ СВАЛКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

В работе рассматривается технология утилизации неорганизованной свалки «Черная дыра» промышленных отходов бывшего производства ОАО «Оргстекло» на территории городского округа город Дзержинск Нижегородской области. В соответствии с проектом, твердые, жидкие и пастообразные отходы свалки должны быть обезврежены по технологии ГЭС ЭТ [1]. Технология термического обезвреживания отходов реализуется в виде двух взаимосвязанных процессов — бескислородного низкотемпературного термолиза и термического обезвреживания в кислородной среде.

В разработке есть ряд ошибок и неучтённых параметров. В соответствии с проектом предполагается уничтожение только жидких (6300 м<sup>3</sup>) и пастообразных (9700 м<sup>3</sup>) промышленных отходов. Основной массив токсичных отходов, находящихся в твердом состоянии (55500 м<sup>3</sup>) не подвергается обезвреживанию, что представляет потенциальную опасность для окружающей среды. Рассматриваемая технология для обезвреживания жидких и пастообразных отходов не является технологией полного цикла переработки отходов на основе процессов термолиза в многокамерных модульных реакторах с плазменным дожигом отходов, а также не является наилучшим доступным вариантом обезвреживания отходов.

Предполагается выполнить расчётные исследования более безопасного и доступного метода сжигания отходов. Утилизацию промышленных отходов, в которых большая часть находится в твёрдом состоянии можно реализовать с помощью барабанной печи. Вращающаяся печь является многозадачной и оптимальной установкой для сжигания крупнодисперсных отходов разного состава и консистенции. Тепло, отводимое от печи, можно использовать для теплофикации, производства пара, выработки электроэнергии. Электростанции с использованием промышленных отходов в качестве топлива в барабанных печах действуют в настоящее время в Германии, Финляндии и других странах.

### **Литература**

1. **Проектная документация.** Раздел 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды часть 2 книга 1. Ликвидация неорганизованной свалки «Черная дыра» промышленных отходов бывшего производства ОАО «Оргстекло» на территории городского округа город Дзержинск Нижегородской области.



Л. В. Корнилова, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОСОБЕННОСТИ И ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО АГРЕГАТА ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Цель разработать энергоэффективный, компактный, простой в использовании и обслуживании агрегат внедоменного производства чугуна и стали стоит перед человечеством уже почти столетие. Топливо доменной печи (коксующийся уголь) является главной причиной острой необходимости производств в принципиально новом устройстве получения металла, в связи с дороговизной угля и обилием вредных выбросов производства в окружающую среду [1].

Кафедрой ЭВТ в настоящее время разрабатывается установка непрерывного получения стали (рисунок 1) с применением сажеводородной смеси — энергоэффективного органического ( $75\%C + 25\%H_2$ ) топлива [2], несущего минимальные угрозы окружающей среде.

В данной работе были рассчитаны характерные размеры предлагаемой установки, соотнесены с размерами доменной печи, вычислены затраты топлива на работу агрегата. По результатам расчетов и рассмотрения характеристик ближайший аналогов получен вывод об экономической и энергетической целесообразности применения устройства.

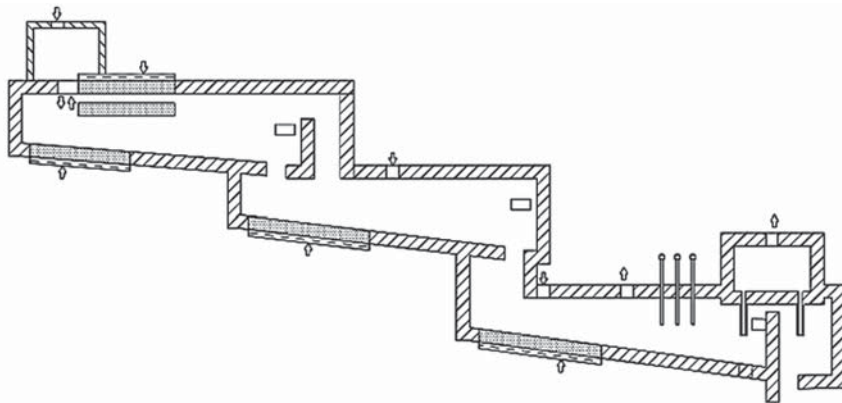


Рис. 1. Чертеж установки непрерывного получения стали

### Литература

1. В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. Общая металлургия. Учебник для вузов. — 5-е изд, перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1998. — 768 с.
2. Нешпоренко Е. Г., Каргавцев С. В. Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. — 153 с.

*А. С. Семёнов, асп.; рук. В. С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР

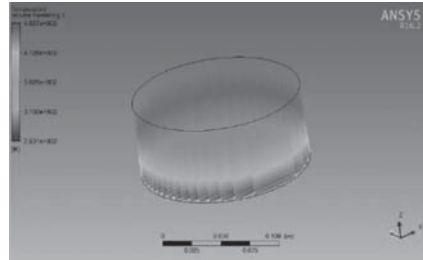
Фрактальная структура — это самоподобная фигура, каждая часть которой как бы подобна целому. Одной из самых распространенных является модель полученная на основе «ковра Серпинского» — «губка Менгера».

Из проанализированных работ, можно выделить следующие основные типы подходов к определению температурных полей фрактальных структур:

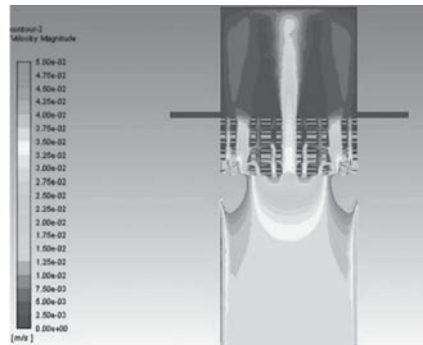
1. Задание температур на поверхностях исследуемой модели, как это делал Габитов Р.Н. в своей работе [1];
2. Пропускание горячего потока газа через модель, который постепенно прогревает исследуемое тело, равномерно проходя по всему его объему;

Стоит отметить, что первый метод использовался автором для исследования температурных полей сплошного тела, которому искусственно приписывалась порозность в меню настроек решателя программного комплекса Ansys Fluent. Но данный метод также применим и для фрактальных структур.

Проанализировав оба варианта, можно сделать вывод, что второй метод более эффективный и точный т.к. позволяет наглядно посмотреть всю картину нагрева от начала проникновения горячего газа в «холодную» модель, до момента, когда газ уже полностью заполнил модель (проник во все поры), что невозможно реализовать, используя первый метод.



**Рис. 1.** Температурное поле исследуемой модели в работе Габитова Р.Н.



**Рис. 2.** Второй способ определения температурных полей

### Литература

1. **Габитов Р.Н.** Повышение эффективности термической переработки твердых коммунальных отходов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ИГЭУ, Иваново, 2017.

*А. С. Макаров, студ.; рук. П. В. Хорева, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **УТИЛИЗАЦИЯ СВАЛОЧНОГО ГАЗА ПО СОВРЕМЕННЫМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

Одним из основных способов удаления ТКО во всем мире остается захоронение в приповерхностной геологической среде. В этих условиях отходы подвергаются интенсивному биохимическому разложению, которое вызывает генерацию биогаза, называемого свалочный газ (СГ).

Для того, чтобы начать производство свалочного газа, необходим полигон специальной конструкции, которая бы позволяла собирать газ для его дальнейшего использования в самых различных целях, и отвечала бы всем современным экологическим нормам, не загрязняя почву и грунтовые воды.

В настоящий момент, несколько крупных предприятий в нашей стране специализируются на рекультивации мусорных полигонов. Одной из таких компаний является компания ООО «ЭКОКОМ». Данная организация специализируется на проектировании, поставке, строительстве и эксплуатации безопасных полигонов ТКО, в том числе и проблемами добычи, сбора, очистки и утилизации свалочного газа.

Среди проектов, реализованных данной организацией: закрытый полигон ТКО «Кучино» (система сбора, очистки, обезвреживания и утилизации СГ; производительность компрессорной станции: 5000 м<sup>3</sup>/ч), полигон ТКО «Алексинский карьер» (производительность компрессорной станции: 2000 м<sup>3</sup>/ч), полигон ТКО «Тимохово» (производительность компрессорной станции: 1500 м<sup>3</sup>/ч) [1].

На XII Международной выставке WasteTech 8-10.09.2020 г. компания ООО «ЭКОКОМ» представила макет одного из планирующихся к рекультивации полигонов ТКО, включающий в себя систему сбора, очистки (обезвреживания) и утилизации СГ на полигонах ТКО: скважины для сбора свалочного газа, газосборная станция, газоконпрессорная станция и высокотемпературная факельная установка, блочная теплоэлектростанция, трансформаторная электроподстанция [2]. Биогазовые установки могут быть размещены в любом регионе Российской Федерации, так как не требуют строительства дорогостоящих газопроводов.

### **Литература**

1. **Компания «ЭКОКОМ»** <https://ecocom.at/ru/projects/>
2. **Выставка WasteTech, ООО «ЕКОКОМ»** <https://www.waste-tech.ru/ru-ru/exhibitor-directory/ed2020/exhibitor-details.org-ab8a8826-4f28-46e6-8496-f11589ad5623.html#/>

*П. Н. Григорьев, Т. А. Высочина, студенты;  
рук. С. Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОВЫХ ОТХОДОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Использование вторичных энергетических ресурсов позволит снизить удельные расходы природного газа на производство водорода. Одним из масштабных неиспользованных вторичных энергетических ресурсов в России является конвертерное производство стали, где конвертерный газ практически полезно не используется, при этом сжигается на свече, что дает дополнительные выбросы парниковых газов в атмосферу. Использование конвертерных газов для производства водорода на основании термохимической рекуперации позволит снизить удельный расход природного газа, что в значительной степени положительно повлияет на экономические характеристики производства водорода.

Разработана и исследована схема производства водорода на основе термохимической рекуперации газовых отходов сталеплавильного производства.

Исследование теплотехнических параметров схемы приводит к выводу, что ее реализация позволит организовать производство водорода с удельным расходом природного газа на 22–56% ниже, чем в ныне используемых технологиях.

Анализом экономических показателей рассмотренной схемы установлено, что при конвертерном производстве стали производительностью 11 млн т в год можно получать ежегодно 862.4 млн м<sup>3</sup> водорода с себестоимостью 0.41 долл./кг, при этом дисконтированный срок окупаемости составит 2.73 года с начала реализации проекта [1].

Результаты исследования позволяют сделать вывод о высокой энергоэкономической эффективности рассмотренного технического решения по генерации водорода с использованием газовых отходов сталеплавильного производства.

### **Литература**

1. **Петин С.Н.** Энергоэкономическая эффективность генерации водорода при использовании газовых отходов сталеплавильного производства / Петин С.Н., Высочина Т.А., Григорьев П.Н., Попов С.К. // Энергосбережение — теория и практика. — 2020. — С. 269–275.

**Секция 34**  
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**  
**ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**  
**Processes and apparatuses**  
**of industrial heat engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н. Горелов Михаил Валентинович*

*Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич*

*Н. А. Грек, студ.; рук. Е. В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Система вентиляции является одной из самых энергоемких систем любого промышленного предприятия. Технологические процессы промышленных предприятий сопровождаются выделением теплоты и влаги, а также различных веществ, ухудшающих состояние воздушной среды. К таким процессам можно отнести нагревание оборудования пневматического хозяйства на гидроэлектростанциях. Потребителями сжатого воздуха на ГЭС являются системы регулирования агрегата, торможения, отжатия воды из камеры рабочего колеса при работе в режиме синхронного компенсатора, а также пневматический инструмент, применения которого обязательно в сырых помещениях. Система пневматического хозяйства состоит из компрессорных установок, ресиверов, магистральных воздухопроводов и разводящих линий к потребителям воздуха. Давление воздуха для системы регулирования гидромашин на крупных агрегатах достигает 4–6 МПа, для остальных потребителей 0,6–0,7 МПа, в связи с чем, устанавливается компрессор высокого и низкого давления [1]. В данной работе рассмотрено несколько помещений компрессорных станций ГЭС. Одним из возможных вариантов решения поддержания приемлемой температуры является система вентиляции.

В технологических помещениях ГЭС рассмотрены две вентиляционные системы: естественная и механическая, произведён расчёт расходов приточного и вытяжного воздуха, аэродинамический расчёт. В зимний период года температура в рабочей зоне компрессорной установки может достигать 30–45°C, а летом более 60°C. Температурные скачки отрицательно влияют на оборудование, нарушается пожарная безопасность, автоматика выходит из строя. Система вентиляции помогает увеличить срок эксплуатации оборудования и позволяет снизить затраты на замену оборудования.

Естественная вентиляционная система пригодна для использования лишь в тех помещениях, в которых установлен компрессор мощностью не более 16 кВт. В результате расчета можно сделать вывод, что для рассматриваемых технологических помещений ГЭС наиболее эффективной является механическая система. В работе подобрано необходимое оборудование в нескольких вариантах исполнения, в целях определения максимально экономически выгодного, эффективного и удобного в эксплуатации.

### **Литература**

1. Аршиневский Н. Н., Губин М. Ф., Карелин В. Я. Гидроэлектрические станции. 3-е издание. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1987.

*Н. Д. Медведева студ.; рук. А. Б. Гаряев д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ГАЗОПАРОВЫХ СМЕСЕЙ**

Целью исследования является определение наиболее эффективного метода для удаления углеводородов из газопаровых смесей с последующим их возвращением в емкость хранения и утилизацией с получением энергии. Эффективность метода зависит от высокой степени очистки газопаровых смесей от углеводородов, экономических затрат на реализацию метода, условий и безопасности эксплуатации.

Предполагается, что парогазовоздушная смесь, выходящая из резервуара для хранения и перевалки нефти, на 1 м<sup>3</sup> содержит 400 л углеводородов (метановых и бензиновых фракций) [1]. Этот объем продукта может улавливаться и использоваться на энергетические нужды предприятия, либо обрабатываться до товарных качеств и поступать на реализацию. Исходя из данных таблицы 1, можно сделать вывод, что целесообразно применять сорбционные, компрессионный и конденсационные методы [2].

**Таблица 1.** Сравнительная эффективность (%) методов снижения выбросов парогазовоздушной смеси в атмосферу

<b>Применяемые методы</b>	<b>Эффективность</b>
С использованием защитного газа	70–95
Газоулавливания	60–90
Сорбционные	90–96
Компрессионные	до 96
Конденсационные	до 98

Компрессионный метод является наиболее пожаро- и взрывоопасным, что ограничивает его применение в терминалах и портовых сооружениях. Использование сорбционных методов очистки эффективно при последовательном совмещении процесса адсорбции и абсорбции. Наиболее перспективным является комбинированный метод, совмещающий конденсационный и сорбционный способ очистки.

### **Литература**

1. **SERV01/3000-Commercial/Standard Documents/NT-01-01-06 E. CarboVac Environmental Services. General Description** [Электронный источник]. Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/125464708/English-General-Description> (дата обращения: 03.10.2020).
2. **Коршак А. А., Бусыгин Г. Н., Шаммазов А. М.** Выбор средств сокращения потерь нефтепродуктов из резервуаров с учётом времени их внедрения // Транспорт и хранение нефтепродуктов. — 1998. — No 10. — С. 6–8.

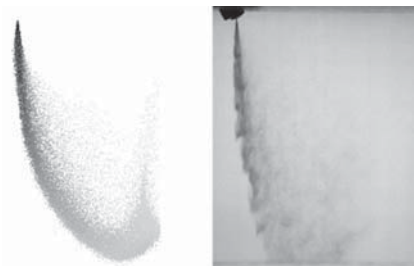
*Т. С. Вайсс, асп.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)  
Л. Вайсс, асп. (ФАУ в г. Эрланген, Германия)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА OPENFOAM ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРОЖИДКОСТНОЙ СТРУИ В СНОСЯЩЕМ ПОТОКЕ

Исследование процессов гидродинамики и тепломассообмена парожидкостных струй в сносящем воздушном потоке необходимо для оптимизации процесса смесеобразования в камере сгорания современных автомобильных двигателей, с целью снижения вредных выбросов.

Результаты экспериментов, проведённых авторами на базе лаборатории кафедры Технической термодинамики университета Фридриха-Александра в г. Эрланген, Германия, опубликованы в работе [1]. Однако для многостороннего описания процесса необходимо применение дополнительных средств исследования, например, численного моделирования, выполненного авторами в программе OpenFOAM [2]. Использовался решатель sprayFoam для нестационарных, турбулентных сжимаемых потоков с облаком частиц, где применяются метод Лагранжа для описания движения частиц и метод Эйлера для двухкомпонентной смеси воздух–пар. К основным полученным результатам можно отнести координаты, диаметры,

скорости и температуры частиц, скорость и температуру паровоздушной смеси, и концентрацию пара в воздухе. На рис. 1 и 2 представлены результаты моделирования и эксперимента. На рис. 2 видна подковообразная форма струи и образование двух циркуляционных зон, что согласуется с теоретическими данными [3].



**Рис. 1.** Струя изооктана в сносящем потоке скоростью 30 м/с при давлении впрыска 100 бар: слева — по результатам OpenFOAM, справа — по эксперименту



**Рис. 2.** Струя изооктана в сносящем потоке скоростью 30 м/с при давлении впрыска 100 бар по результатам OpenFOAM — вид сверху

### Литература

1. Зуева Т. С., Welsch R., Wensing M., Гаряев А. Б. Модель распространения струи жидкого топлива при впрыске в цилиндр двигателя внутреннего сгорания // Энергосбережение — теория и практика: Тр. 9-й междунар. школы-семинара молодых учёных и специалистов. М.: МЭИ, 2018. С. 53–59.
2. Руководство пользователя OpenFOAM [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://openfoam.com/documentation/user-guide/>, свободный (29.03.2020).
3. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М.: ЭКОЛИТ, 1960.



*С. А. Данилов, А. О. Липнин, И. И. Самоделкин, студ. ;  
рук. Г. П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА**

Микроклимат помещений, в которых находится человек, напрямую влияет на его состояние здоровья.

Для организации воздухообмена и поддержания параметров микроклимата в помещениях торгового комплекса выбрана наиболее эффективная система кондиционирования воздуха, выполнен расчет и подбор климатического оборудования. Подача наружного воздуха  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного покупателя и  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного сотрудника с оптимальной относительной влажностью воздуха обеспечивает комфортные условия для находящихся в помещениях людей [1].

Рассмотренный этаж реконструируемого здания торгового центра ранее использовался в качестве офисных помещений. Существующие инженерные системы данного этажа демонтированы, запас по холодоснабжению здания отсутствует, поэтому необходимо обеспечить новый источник холода. Для кондиционирования воздуха предложена система «чиллер-фанкойл».

Рассмотрены особенности здания, основные нормы для поддержания микроклимата в помещениях торгового центра (корнерах) и предложены технические решения. Для поддержания микроклимата данного помещения необходимо обеспечить приток  $32230 \text{ м}^3/\text{ч}$  свежего воздуха, для организации системы кондиционирования необходима парокомпрессионная холодильная установка мощностью  $542 \text{ кВт}$  и  $112$  вентиляторных доводчиков мощностью  $4,5 \text{ кВт}$ . Суммарные теплопоступления в помещения от различных источников в теплый период года составляют  $506,6 \text{ кВт}$ . Результаты, полученные в проекте, отражают высокую энергетическую эффективность и целесообразность применения естественного охлаждения хладоносителя парокомпрессионной холодильной установки в климатических условиях Москвы. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха вместе с системами холодоснабжения являются основными потребителями электроэнергии, поэтому энергетической эффективности этих систем нужно уделять особое внимание.

### **Литература**

1. **Белова Е. М.** Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. Москва, Евроклимат, 2003, 400 с.

*Б. Ж. Бержаканова; К. О. Плешков; студ.;  
рук. Г. П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ СПОРТИВНОГО ЦЕНТРА С ПЛАВАТЕЛЬНЫМ БАССЕЙНОМ**

Проектирование систем отопления и вентиляции содержит следующие этапы: выбор принципиальной схемы обработки воздуха, расчёт количественных параметров систем и компоновка необходимого оборудования. По итогу проектирования получена система для поддержания параметров микроклимата здания спортивного центра с плавательным бассейном. При этом учтены показатели энергоэффективности системы. Рассмотрены различные схемы обработки воздуха, такие как приточно-вытяжная вентиляционная система, которая производит поддержание требуемого микроклимата за счёт интенсивного вентилирования, а также центральный кондиционер с функцией осушения воздуха. Также проанализированы различные способы утилизации теплоты вытяжного воздуха.

Выбрана смешанная система вентиляции: естественная и с механическим побуждением. Воздухообмен помещений бассейна для взрослых и бассейна для детей рассчитан на ассимиляцию влагопоступлений и с учетом нормы подачи наружного воздуха на одного занимающегося  $80 \text{ м}^3/\text{час}$  [1].

Бассейн для взрослых обслуживается системой приточно-вытяжной вентиляции ПВ1. В холодный период система ПВ1 функционирует как приточно-отопительная. Для управления установкой ПВ1 предусмотрена система управления с модулем, обеспечивающим поддержание температурно-влажностного режима.

Бассейн для детей обслуживается установкой осушения воздуха с рециркуляцией и частичным забором наружного воздуха ПВ2. Для осушения воздуха установка ПВ2 включает секцию теплового насоса.

Выбранная нами система обеспечивает поддержание требуемого микроклимата в зданиях с плавательным бассейном и затрачивает 520 кВт на вентиляцию данного объекта и 352 кВт на отопление, в том числе воздушное.

### **Литература**

1. СанПиН 2.1.2.1188-03 Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества

В. А. Третьякова, асп.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ СРАВНЕНИЯ СХЕМ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время существуют регионы, которые требуется обеспечить, как автономным энергоснабжением, так и снабжением пресной водой. Поэтому актуально и целесообразно совмещение производства электроэнергии и пресной воды в одной когенерационной установке. Состав такой установки может быть различным. Вследствие этого предложено дерево вариантов когенерационной опреснительной установки (рис. 1), причем для одного из вариантов уже была разработана схема и произведен расчет с газопоршневым агрегатом в качестве источника электроэнергии [1].

Для определения оптимальной схемы установки в заданных условиях необходим комплексный критерий сравнения и оценки эффективности комбинированной опреснительной установки. В работе показано, что данный критерий должен учитывать следующие показатели: количество полученной электроэнергии и количество полученной пресной воды на единицу затраченного топлива, коэффициент использования топлива, стоимость установки, стоимость вырабатываемой энергии и пресной воды, а также дополнительные показатели, например, простота эксплуатации.



Рис. 1. Дерево вариантов когенерационной опреснительной установки

### Литература

1. Гурьева В. А., Гаряев А. Б. Сравнение тригенерационных установок для получения пресной воды. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020. — 1156 с.

*Р. О. Алексеев, М. Е. Шаповалова, А. Е. Шаповалов, студенты;  
рук. Г. П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ СЕМЯН ДИКОРАСТУЩЕЙ ТРАВЫ**

Необходимость увеличивать производство семян дикорастущей травы связана с темпами озеленения ландшафтов после производственных работ. Данную проблему можно решить при помощи конвективной сушки. Этот способ сушки основан на передаче теплоты продукту за счет энергии, которая поступает от нагретого сушильного агента.

Определение равновесной сорбционной влажности семян дикорастущей травы выполнено экспериментально-аналитическим методом с целью выявления оптимальных способов сушки семян при увеличении объёма производства. В регулировании водного обмена растений значительную роль играют водоудерживающие силы. Водоудерживающая способность клеток зависит от условий выращивания растений. Для расчета удельной поверхности сорбентов с S-образными изотермы сорбции, использовано уравнение БЭТ [1]:

$$\frac{\varphi}{x \cdot (1 - \varphi)} = \frac{1}{x_m \cdot C} + \frac{C - 1}{x_m \cdot C} \cdot \varphi, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — относительная влажность воздуха;  $x$  — количество сорбированного вещества, г/г;  $x_m$  — количество вещества в сплошном мономолекулярном слое, г/г;  $C$  — постоянная, представляющая отношение времени жизни молекул в первом слое и жидкости соответственно.

Из-за структуры и формы соцветий сильно отличаются условия, при которых будет достигаться максимальный результат и семена будут пригодны для транспортировки и дальнейшей посадки [1].

Изучены семена, соцветия и стебли растений *Veronica spicata*, *Oenothera* и *Prunella*. По морфологическим признакам указанные растения относятся к разным группам. Анализ капиллярно-пористой структуры и сорбционных свойств исследованных растений показал, что наибольшее влияние на продолжительность процесса сушки оказывает содержание внутри объектов сушки питательных веществ и эфирных масел. Равновесная влажность трех рассмотренных образцов растений при значении температуры воздуха 20°C находится в широком диапазоне от 7 до 35% в зависимости от относительной влажности воздуха.

### **Литература**

1. **Бозорова Н. Х.** Сорбция паров воды и поровые характеристики полученных сополимеров / Н. Х. Бозорова, Х. Б. Рахматов, А. Т. Караев. — // Молодой учёный. — 2015. — № 9 (89). — С. 71–74.

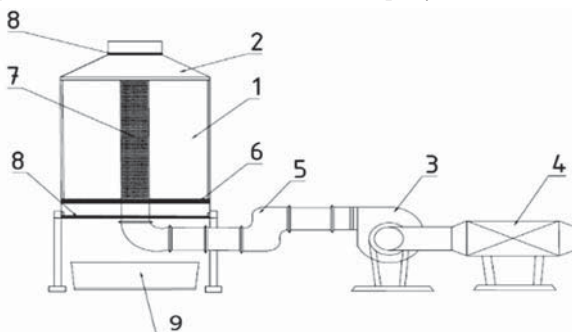
*А. Н. Сабанова, А. Д. Шибанова, С. С. Городничина, студ.;  
Т. С. Березина, асп.; рук. Г. П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕРНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛКИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В данной работе в качестве объекта сушки выбрано редкое декоративное растение *Nachtkerze* (смесь стеблей и семян). При сушке часть биологических свойств семян утрачивается, но применяя высокоэффективное оборудование можно минимизировать потери этого ценного продукта.

Проанализированы устройства для сушки дисперсных материалов и сделан вывод о том, что ни одна из существующих конструкций не подходит для сушки рассматриваемого объекта. Разработан эскиз конструкции, которая позволит учесть все особенности объекта сушки. В основу проектирования конструкции были положены две модели сушилок: конструкция бункерной сушилки высоковлажных семян СБВС — 5 [1] и бункер вентилируемый БВ — 25 (БВ — 40). Принципиально проектируемая конструкция сушильной установки отличается от аналогов тем, что в центральной части цилиндрического корпуса расположена перфорированная труба для распределения воздуха, а в основании корпуса установлено мелкоячеистое сито.

Таким образом, проектируемая конструкция камерной конвективной сушилки повысит равномерность высыхания материала, снизит механические повреждения зерна, сохраняя биологические компоненты продукта.



**Рис. 1.** Конструкция камерной конвективной сушильной установки периодического действия

- 1 — цилиндрический корпус; 2 — съемная крыша; 3 — вентилятор; 4 — калорифер;  
5 — воздуховод; 6 — решетка; 7 — перфорированная труба; 8 — сито;  
9 — поддон для сбора семян.

### Литература

1. Сушилка бункерная высоковлажных семян СБВС-5Б (СБВС-5) // URL: <http://www.sushilka32b.ru/index.html/>

*Д. Е. Попов, Ю. В. Солдатенко, А. И. Егорова, П. А. Сапко студ.;  
рук. Г. П. Власенко, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ЗДАНИЯХ, ОТНЕСЕННЫХ К ОБЪЕКТАМ КУЛЬТУРНОГО ЗНАЧЕНИЯ**

Одной из ключевых задач при реализации реставрационных мероприятий в объектах культурного значения архитектура здания, а также все экспонаты, находящиеся в выставочных помещениях этого здания, представляют собой историческую ценность, что создает специальные требования по поддержанию микроклимата в помещениях. И соответственно, определенные трудности при выборе методики расчета.

Рассмотрены комбинированная методика расчета и подбора вентиляционной системы с использованием современного программного обеспечения, а также основные аспекты, посвященные решению вопросов, возникающих при реконструкции систем вентиляции в зданиях, отнесенных к объектам культурного значения. Нормативные значения параметров наружного и внутреннего воздуха для реконструируемого здания использованы наряду с выявленными планировочными и конструктивными параметрами объекта для проектирования систем вентиляции.

В качестве объекта исследования было рассмотрено двухэтажное здание XIX века постройки, являющийся объектом культурного наследия федерального значения «Усадьба Знаменское-Губайлово, XVIII в.: Флигель XIX в.», здание имеет 24 помещения общей площадью 445,56 м<sup>2</sup>. Материал перекрытий — дерево. Для осуществления реконструкции здания и его приспособления к современному использованию в выставочных помещениях второго этажа данного объекта определен требуемый расход приточного и вытяжного воздуха и подобрана приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Параметры наружного воздуха в холодный и теплый период года: -25°C и 26°C, соответственно; параметры внутреннего воздуха в холодный 22–24°C и теплый период года 19–21°C [1].

Использование для проектирования программного обеспечения MagiCAD позволило произвести качественный и более эффективный расчет с учетом архитектурных особенностей здания непосредственно в процессе проектирования. В результате осуществлен подбор приточно-вытяжной системы вентиляции Systemair Topvex SR04EL-L-CAV по требуемым параметрам на 2050 м<sup>3</sup>/ч.

### **Литература**

1. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. — М.: Минрегион России, 2012. — 81 с.

А. А. Кобзева, асп.; А. Д. Лобов, студ.;  
рук. В. С. Глазов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ОРЕБРЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ В КОМПАКТНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

Один из способов, который позволяет определить коэффициент теплоотдачи (КТО) при турбулентном режиме, основан на эмпирической формуле Михеева М. А., которая содержит число Рейнольдса и входящий в него характерный линейный размер (ХЛР). Для каналов сложной формы принято определять ХЛР по формуле гидравлического диаметра, вытекающей из двух уравнений для периметра и площади поперечного сечения канала:

$$d_r = 4 \cdot F / \Pi, \quad (1)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>;  $\Pi$  — смоченный периметр, м;

Если за основу определения ХЛР прямого канала взять не формулу (1), а систему указанных уравнений, то получим, что у каналов с круглым и квадратным поперечным сечением ХЛР является диаметр круга и сторона квадрата, соответственно. При этом формула расчёта ХЛР не изменяется. Однако, если применить данный подход к каналу с равносторонним треугольным сечением, то получим в качестве ХЛР следующую формулу:

$$d_g = d_r \sqrt{3}. \quad (2)$$

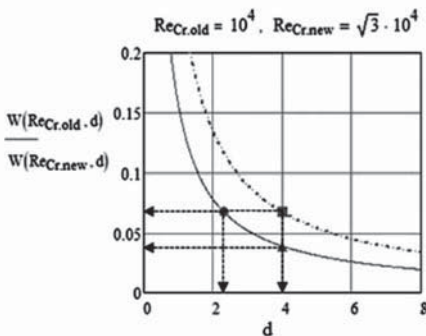


Рис. 1. Зависимость скорости ( $W$ , м/с) от ХЛР ( $d$ , мм) при разных значениях  $Re_{кр}$

следовательно, к меньшим затратам энергии на прокачку теплоносителя.

В заключении отметим, что мы не первые, кто обратил внимание на некорректность использования (1) для каналов с треугольным сечением. Еще в 1998 г. [1] отмечалось, что для воздухопроводов с очень острыми углами использование (1) приводит к недопустимо большим ошибкам.

### Литература

1. W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho. Handbook of heat transfer. NY: McGraw-Hill, 1998.

*Г. Р. Бадретдинова, К. А. Гареева, студенты;  
рук. А. В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **РАЗРАБОТКА СЕПАРАТОРА С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме повышения эффективности очистки газовых потоков от мелкодисперсных частиц размером менее 10–20 мкм. Данная проблема актуальна для большинства промышленных предприятий, касающихся энергетической, нефтехимической, металлургической, строительной сферы и др. Для решения данной проблемы в очистительных системах применяют различные устройства для улавливания мелких частиц. К таким устройствам относятся аппараты тонкой (циклоны) и грубой (рукавные фильтры) очистки. Однако аппараты грубой очистки, в частности циклоны, имеют низкую эффективность улавливания мелкодисперсных частиц размером до 20 мкм и высокое гидравлическое сопротивление. Аппараты тонкой очистки, в свою очередь, нуждаются в периодической очистке и замене фильтрующих элементов, что приводит к достаточно большим денежным затратам [1–2].

Таким образом, возникает необходимость в разработке новых устройств, позволяющих повысить эффективность улавливания мелкодисперсных частиц размером до 10–20 мкм. Следовательно, авторами была разработана конструкция сепаратора с соосно расположенными трубами для улавливания мелкодисперсных частиц размером менее 20 мкм, которую предлагается установить, как вторую ступень очистки, т. е. после аппаратов грубой и перед аппаратами тонкой очистки.

Улавливание мелкодисперсных частиц в данном устройстве осуществляется за счет возникающей центробежной силы, которая создает устойчивую вихревую структуру газового потока. Особенностью данной вихревой структуры является дополнительное ускорение соседних завихрений в точках касания.

### **Литература**

1. **Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Соловьева О. В., Латыпов Д. Н.** Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью // Вестник технологического университета, 2019, Т. 22, № 8, С. 42–46.
2. **Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Галиев А. А.** Влияние конструктивного оформления элементов прямоугольного сепаратора на эффективность очистки газа от твердых частиц // Вестник технологического университета, 2018, Т. 21, № 9, С. 58–61.



И. А. Дядиченко, студ.; рук. И. Ф. Самсон, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ИСПАРИТЕЛЯ СОЛНЕЧНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА АДСОРБЦИОННОГО ТИПА

В работе было произведен анализ значений термического сопротивления и требуемой температуры метанола для испарителя цилиндрической формы различных радиусов для солнечного холодильника адсорбционного типа (СХАТ) с рабочей парой активированный уголь — метанол.

Исходными данными для работы являлись объем испарителя, принятый средний расход метанола, теплофизические и термодинамические свойства метанола. На рис. 1 показано изменение требуемой температуры метанола для достижения толщины льда 35 мм по всей теплообменной поверхности для различных радиусов цилиндрического испарителя.

Из графика видно, что при увеличении радиуса испарителя с 5 см до 15 см температура метанола снижается и достигает минимального значения  $-9,64^{\circ}\text{C}$ . Это вызвано изменением термического сопротивления со стороны метанола. Когда радиус увеличивается с 15 см до 27 см, требуемая температура метанола возрастает.

В результате расчётов были получены следующие результаты:

- Было оценено изменение термического сопротивления по мере роста льда. При расчете было установлено, что чем больше высота испарителя, тем меньше сопротивление тепловому потоку через цилиндрическую стенку. В свою очередь сопротивление, действующее через плоскую стенку, увеличивается.

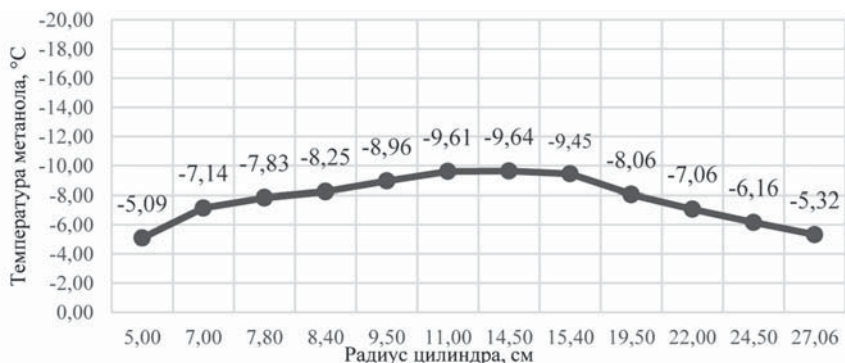


Рис. 1. Требуемая температура метанола для образования корки льда толщиной 35 мм

### 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.

**Секция 35**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**  
**И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**  
**Energy saving and industrial ecology**

---

*Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Яковлев Игорь Васильевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич*

Т. Ю. Андреева студ.;  
рук. С. В. Гужов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

## ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС ЭНЕРГОСИСТЕМ ЗДАНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА ГРУППАХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

В работе поставлена задача разработки интегрального индекса систем тепло-снабжения здания в целях определения особенностей технологии функционирования здания, расчёта расходной части теплового баланса с учётом критериев надёжности и эффективности для систем теплоснабжения объектов на примере офисных зданий г. Москвы.



Рис. 1. Векторы корреляционной матрицы

данных теплотехнического расчёта анализируемых объектов с нормативными показателями.

Результатами работы являются:

- 1) повышение точности прогнозирования эффективности энергосистем здания до уровня не менее 80%;
- 2) разработка программного продукта на основе нейросетевого программирования по расчёту прогнозного интегрального индекса энергосистемы с точностью не менее 80% с числом эпох обучения не более 200, временем обучения не более 90 с;
- 3) повышение эффективности подбора структуры энергосистем зданий с учётом критериев надёжности и эффективности не менее чем на 25%.

### Литература

1. Гужов С. В. Об объединении детерминированного и стохастического подходов при прогнозировании теплового баланса здания для занятий водными видами спорта // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 103–112.

Д. В. Смоляков, студ.; рук. И. В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АНТИФРИЗА НА ТЕПЛОВЫЙ ПОТОК КОНДЕНСАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

В работе исследуется эффективность системы утилизации теплоты вытяжного воздуха в зданиях с повышенной влажностью, к которым относятся, например, здания плавательных бассейнов. Основным элементом систем утилизации теплоты влажного воздуха является конденсационный теплообменник — утилизатор (КТУ). Цель исследования — изучение влияния начальных параметров вытяжного воздуха и температуры антифриза в промежуточном контуре на отводимую от воздуха тепловую мощность, передаваемую в систему подогрева воды.

Была предложена физическая модель и разработан алгоритм вычисления параметров воздуха после конденсационного теплообменника по заданным начальным параметрам и средней температуре второго теплоносителя (антифриза), а также теплового потока, отводимого от воздуха в КТУ. По результатам расчетов установлено, что с понижением температуры антифриза тепловая мощность, отводимая от воздуха в теплообменнике — утилизаторе, растет и приближается к некоторому предельному значению (рис. 1). Это максимальное значение отводимой мощности определяется при минимально возможной температуре антифриза, которая может быть найдена графическим методом с использованием диаграммы влажного воздуха или аналитически. Второй метод дает более точный результат ввиду большой крутизны линии насыщения при малых влагосодержаниях воздуха.

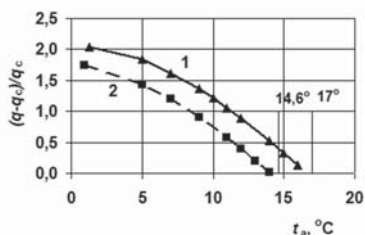


Рис. 1. Расчетное относительное приращение удельной мощности КТУ в зависимости от средней температуры антифриза. 1 — расчет при начальных параметрах воздуха  $t_y=28,6^\circ\text{C}$ ,  $\phi_y=0,50$ , 2 — расчет при  $t_y=26,3^\circ\text{C}$ ,  $\phi_y=0,49$ . Цифрами обозначены температуры точки росы

*О. Д. Матухнова, студент, Т. А. Матухнов, аспирант;  
рук. М. Ю. Юркина, к.т.н., доц.,  
рук. Н. В. Хомченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ НАКИПНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

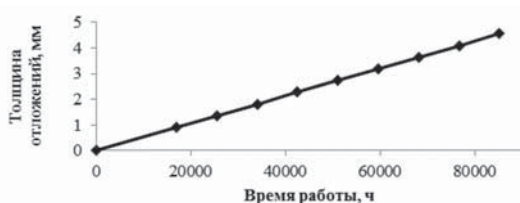


Рис. 1. Зависимость толщины отложений от времени работы

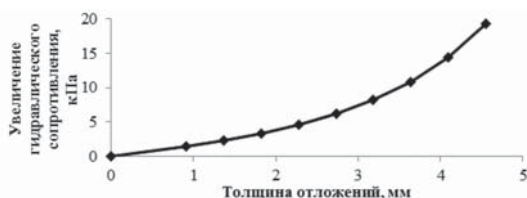


Рис. 2. Увеличение гидравлического сопротивления при увеличении толщины отложений солей жесткости

Содержание примесей в воде приводит к образованию отложений на внутренней части теплотехнического оборудования и впоследствии влияет на ухудшение энергетических характеристик, и выход его из строя [1].

В работе рассмотрена зависимость образования отложений солей жесткости на внутренних поверхностях от времени работы кожухотрубного теплообменного аппарата, предназначенного для нужд ГВС. Результат представлен на рисунке 1.

Вследствие образования отложений происходит уменьшение проходного сечения трубок и увеличива-

ется гидравлическое сопротивление (рисунок 2).

Таким образом, образование отложений солей жесткости на внутренней поверхности теплотехнического оборудования негативно влияет на гидравлический режим.

### Литература

1. Фрог Б. Н., Первов А. Г. Водоподготовка. М.: Издательство АСВ, 2015.

Н. В. Авдокунин студ.; рук. И. В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ ЦОД

Работа посвящена актуальной теме использование сбросной теплоты в центрах обработки данных (ЦОД). Главным источником теплоизбытков в ЦОД является серверное оборудование, которое требует постоянного охлаждения. Данная теплота является сбросной и ее можно использовать различными способами. Одним из таких способов является применение системы передачи теплоты от вытяжного воздуха к воде в системе отопления офисного помещения центра обработки данных с использованием теплообменника — утилизатора, промежуточного циркуляционного контура и теплового насоса типа «антифриз — вода».

В работе анализируется работа системы утилизации теплоты вентиляционных выбросов с позиции наиболее эффективного ее использования. На основе тепловых и материальных балансов системы был предложен показатель энергетической эффективности системы, представляющий собой отношение полученной полезной теплоты к располагаемой теплоте вентиляционных выбросов. Этот показатель можно представить, как удельную экономию энергетических ресурсов при применении утилизации теплоты вентиляционных выбросов по предлагаемой схеме. Удельная экономия энергоресурсов зависит от эффективности теплообменника — утилизатора, коэффициента трансформации энергии теплового насоса, температуры теплоносителя в промежуточном контуре и удельных затрат условного топлива на выработку тепловой и электрической энергии на источнике.

В ходе анализа было выявлено, что экономия энергоресурсов становится положительной при значении коэффициента трансформации энергии теплового насоса более 2,8.

При меньших значениях коэффициента трансформации расход условного топлива на производство потребляемой электрической энергии превышает эффект от применения теплового насоса. На рис. 1 представлены расчетные зависимости удельной экономии энергоресурсов от средней температуры антифриза при фиксированном коэффициенте трансформации теплового насоса. Расчеты показали, что существует оптимальное значение средней температуры антифриза, при которой энергосберегающий эффект будет максимальным.

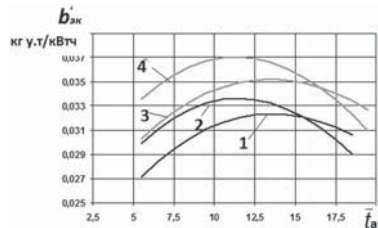


Рис. 1. Зависимости удельной экономии от средней температуры антифриза.

- 1 —  $t_y = 30^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_a = 3^\circ\text{C}$ ;
- 2 —  $t_y = 35^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_a = 3^\circ\text{C}$ ;
- 3 —  $t_y = 35^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_a = 5^\circ\text{C}$ ;
- 4 —  $t_y = 30^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_a = 5^\circ\text{C}$

*Д. В. Рязанцева, студ., А. А. Пилипенко, студ.,  
рук. М. В. Горелов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ**

Главной задачей энергосбережения является минимизирование потери тепла и повышение тепловой защиты зданий. Для этого сейчас применяют многослойные ограждающие конструкции. В строительной практике вместо традиционных однослойных наружных стеновых панелей из легких бетонов стали широко применяться трехслойные стеновые панели, которые включают в себя слой эффективной теплоизоляции — прочной, биостойкой, устойчивой к действию влаги, но и имеют недостаток — наличие в основном жестких железобетонных или гибких металлических связей, являющиеся «мостиками холода», через которые происходят дополнительные теплотери. Поэтому встал вопрос корректного определения теплофизических свойств таких конструкций.

В данной работе объектом исследования является типовой панельный дом серии П44, расположенный в г. Москва. Для исследования влияния теплотехнических неоднородностей ограждающей конструкции на потери теплоты был проведен теплотехнический расчет на примере трехслойной железобетонной панели.

Для полного анализа были проведены расчеты сопротивления теплопередаче тремя способами: без учета коэффициента теплотехнической однородности, с его учетом, а также с учетом удельных потерь теплоты. По первому способу получено условное значение сопротивления теплопередаче без учета коэффициента неоднородности —  $R_0^{ysl} = 3,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , поэтому является неверным. По способам 2 и 3 получили приведенные сопротивления,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ :  $R^{np} = 3,23$  и  $R_0^{np} = 2,99$ . Если сравнить приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, полученное двумя методами, то меньшее значение получено при использовании методики с помощью температурных полей и таблиц. Однако стоит отметить, что все значения проходят по требованиям сопротивления теплопередаче.

### **Литература**

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. — М.: ФАУ «ФЦС», 2012. — 96 с
2. Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций: методические указания / Составители А. С. Самохвалов, И. В. Головных. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. Ун-та., 2013. — 38 с.
3. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей. — М.: Минрегион России, 2015. — 68 с.

О. С. Прохоренко, студ.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Водород является энергоёмким и экологически чистым энергоносителем, поскольку при его сжигании в топливном элементе образуется только вода, что ведёт к резкому снижению загрязнения окружающей среды. Проблема хранения водорода является одной из ключевых проблем развития водородной энергетики.

### Способы хранения водорода:

- Хранение водорода в газообразном виде под давлением. На практике технология хранения водорода под давлением в резервуарах используется уже много лет, она аналогична технологии хранения природного газа. Требует затрат энергии на работу компрессора.
- Хранение в сжиженном виде. Резервуары и хранилища должны быть теплоизолированы, чтобы контролировать испарение, которое происходит, если тепло переносится в хранимое содержимое из-за теплопроводности, излучения и конвекции. Требует оборудования и затрат энергии на охлаждение.
- Криогенная адсорбция. Плотность водорода, аналогичная сжиженному водороду, может быть достигнута с помощью соответствующих адсорбирующих материалов.
- Хранение водорода в гидридах металлов. Водород из гидридов металлов можно получить по двум реакциям: гидролиза и диссоциации.

### Преимущества и недостатки способов хранения водорода

Способ хранения	Преимущества	Недостатки
Хранение водорода в газообразном виде под давлением.	технология хорошо отработана и доступна, относительно невелика стоимость	при давлении больше 20 МПа до конца не отработана.
Хранение в сжиженном виде.	сосуды с жидким водородом легче, чем сосуды под давлением, технология доступна	сложность при хранении, высокие энергозатраты, высокая стоимость.
Криогенная адсорбция	простая технология, более высокой плотности энергии	дополнительные затраты энергии.
Хранение водорода в гидридах металлов	удобство и безопасность хранения в твердой фазе	необходимость подогрева, высокая стоимость

### Литература

1. Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. Водород в энергетике: учеб. пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 229 с



*Д. А. Ефимов студ.; рук. А. Б. Гаряев д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

Благодаря высокой энергоемкости и экологичности, водород рассматривается как перспективный энергоноситель. Способы его промышленного производства основная задача для энергетики будущего.

Большая часть водорода производится путем конверсии метана водяным паром. Водород, полученный этим способом, имеет низкую цену, однако требует очистки. Основным недостатком является выброс углекислого газа.

Получение водорода при газификации угля имеет те же преимущества и недостатки что и конверсия метана.

Пиролиз — менее распространённый метод, побочным продуктом процесса является пироуглерод, утилизация которого намного проще. Однако водород, полученный таким способом, так же требует очистки.

Водород можно получать из органики при помощи микроорганизмов. Этот метод имеет экологические преимущества. Недостатками являются низкая скорость получения.

С помощью электролиза можно получать большие объемы чистого водорода. Его основным плюсом является отсутствие вредных выбросов. Однако электролитический водород очень дорог.

### **Энергетическая эффективность получения водорода**

Способ	Ресурс	Удельный расход условного топлива, кг у.т/кг	Отношение затраченной энергии к полученной, кДж/кДж
Паровая конверсия	Метан	4,74	1,12
Газификация угля	Уголь	6,24	1,37
Пиролиз	Метан	7,56	1,82
Микроорганизмы	Отходы	0	-
Электролиз	Вода	27,77	1,77

### **Литература**

1. **Морозова О. Н., Павленко А. А., Титов С. С.** Способы получения водорода // 2019 № 4 (28).
2. **Крылов О. В.** Промышленные методы получения водорода // 2007 № 2.
3. **Дубинин А. М., Кагарманов Г. Р., Финк А. В.** Энергетическая эффективность ряда способов получения водорода // 2009. Т. 52. (2).
4. **Марков С. А., Протасов Е. С., Быбин В. А., Стом Д. И.** Получение водорода с помощью микроорганизмов и микробных топливных элементов на основе утилизации ингредиентов сточных вод и различных отходов // 2013 № 01/2 (118).

*М. Р. Тахохова, студ.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА

Сегодня водород и водородосодержащие смеси все больше становятся перспективным топливом, так как мир старается перейти к безуглеродной энергетике. Исходя из этого возникает вопрос о методах транспортировки водорода, сопоставление которых представлено в таблице.

**Сравнительная таблица способов транспортировки водорода.**

Способ транспортировки	Преимущества	Недостатки
<b>Газообразный водород</b>		
Трубопроводный транспорт	1. Наибольшая рентабельность для больших объемов водорода 2. Низкое энергопотребление	1. Большие вложения в строительство 2. Высокая стоимость транспортировки при малых объемах
Контейнерные перевозки	1. Отсутствие потерь водорода 2. Не требуется создания инфраструктуры хранения на месте потребления	1. Целесообразность только для мелких потребителей 2. Высокая стоимость транспортировки
<b>Жидкий водород</b>		
Криогенные цистерны	1. Высокая энергетическая плотность и небольшой объем 2. Дешевые и эффективные криогенные цистерны	1. Большое энергопотребление и высокая стоимость 2. Сложность обращения с криогенными жидкостями
<b>Водород в химически связанном состоянии</b>		
Носители	1. Минимальная стоимость транспортировки в перспективе 2. Умеренные давления и температуры при доставке	1. Повышенное энергопотребление 2. Возможность попадания примесей в газообразный водород

Мы считаем наиболее перспективной транспортировку водорода в виде водородоемких химических соединений, например, аммиака. Преимущество данного метода — возможность увеличения плотности содержания водорода до 100 кг/м<sup>3</sup>.

### Литература

1. **Алексеева О. К., Козлов С. И., Фатеев В. Н.**, Транспорт на альтернативном топливе // ТВТ. 2011.Т. 21. № 3

*Д. В. Огородова, студ.; рук. А. Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

На данный момент в энергетике накопился целый спектр проблем, связанных с ростом потребления энергоресурсов и воздействием их потребления на экологию. В связи с этим возрастает интерес к безуглеродной энергетике и разрабатываются международные программы по переходу к ней уже к 2050 г. Основными энергоносителями при таком сценарии являются электроэнергия и водород. В данной работе сделана попытка на основе анализа литературы получить ответ на вопрос о возможности использования водорода для получения электрической энергии в промышленных масштабах.

Перспективной сферой применения водорода являются топливные элементы (ТЭ). Топливные элементы имеют высокий КПД. Единственным продуктом выброса при их работе на водороде являются вода в виде пара. Однако долгое время ТЭ широко применялись, в основном, для портативных устройств. Сейчас широко применяются стационарные установки мощностью более 10 кВт, которые могут использоваться в домашних условиях или как резервный источник питания. Однако уже ведутся разработки над более мощными установками и достигнута установленная мощность в 50 МВт, что применимо в централизованной энергетике. [1]

В централизованной энергетике потребность в аккумулировании связана с потребностью сглаживания неравномерности потребления энергии. Предлагается использование комбинированной схемы воздушно-аккумулирующей газотурбинной электростанции, в которой для подогрева воздуха перед турбиной используется теплота сжигания водорода в кислороде, полученных путем электролиза. В период малого энергопотребления происходит аккумулирование по двум направлениям: получение водорода и кислорода методом электролиза и второй путем сжатия воздуха компрессорами, который используется для привода ГТУ во время пикового потребления. В настоящее время все элементы данной схемы известны, за исключением  $H_2O_2$  — камеры сгорания, требующей разработки. [2]

### **Литература**

1. **Водород в энергетике:** учебное пособие [Текст] / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа — Екатеринбург: Изд-во Уральского Университета, 2014 г. — 234 с.
2. **Счастливец,** Водородно-воздушная газотурбинная система аккумулирования энергии [Текст] / А. И. Счастливец, О. В. Назарова // Водородные энергетические технологии: сб. статей. — Москва, 2017. — С. 150–159.

*Д. А. Косенок, студ.; рук. М. С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЕМКОЙ**

Излучение играет большую роль в процессах теплоотдачи от обогревателей [1–2]. Перспективным направлением является разработка водяных или электрических инфракрасных панелей, которые не рассеивают тепловую энергию излучения, а концентрируют её в определенной области. Компактность, простота обслуживания и экономичность плоских панелей обуславливают интерес к разработке новых плоских поверхностей с высоким коэффициентом направленности излучения [3]. Инфракрасные панели, кроме панелей с параболическим рефлектором, обладают низким коэффициентом направленности.

Целью работы является разработка программного обеспечения лабораторного стенда [4–5] для определения степени черноты поверхностей тепловизионной съемкой. Для определения степени черноты или температуры поверхностей в широком диапазоне углов к нормали необходимо быстро обрабатывать большие объёмы получаемых данных.

В качестве источника данных выступает тепловизор MLX90640, управляемый микроконтроллером stm32f103c8t6 через интерфейс ИС в составе модуля GY\_MCU9064. Результаты тепловизионного снимка передаются из микроконтроллера по интерфейсу USART.

Написана программа на языке C++, передающая команды микроконтроллеру и получающая с него данные по интерфейсу USART. Разработанная в среде Mathcad программа позволяет обработать числовые данные, полученные от первой программы. Результатом работы программного обеспечения является массив данных с распределениями температуры и полной погрешности с учетом исключения промахов [6].

### **Литература**

1. **Блох А. Г., Журавлев Ю. А., Рыжков Л. Н.** Теплообмен излучением. Справочник // М.: Энергоатомиздат. 1991. 432 с.
2. **Зигель Р., Хауэлл Дж.** Теплообмен излучением // М.: МИР, 1975, 935 с.
3. **Болотских Н. Н.** Инфракрасный обогрев теплиц с помощью электрических длинноволновых нагревательных панелей // ЭЭЭ. № 9 (140). 2015 г., с 43–52.
4. **Purdin M., Kosenok D.** Designing a Laboratory Stand for Determining Coatings Emissivity // Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020, 9059163.
5. **Косенок Д. А., Пурдин М. С.** Разработка лабораторного стенда для определения степени черноты покрытий // 26 МНТК студ. и асп. РЭЭ. Москва. с. 662.
6. **ГОСТ Р 8.736-2011** «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений.»

*Д. А. Косенок, студ.; рук. М. С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ГРУНТА В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аккумуляция энергии положительно сказывается на работе многих энергетических систем. В зимний период можно отбирать теплоту у грунта для отопления, а в летнее — возвращать обратно, осуществляя кондиционирование. Теплота транспортируется с теплоносителем по трубопроводам, помещенным в грунт горизонтально, вертикально или наклонно. При неглубоком заложении, менее 15 м, или в верхней части скважины колебания температуры воздуха оказывают влияние на теплообмен в грунте и количество запасаемой теплоты [1]. Целью данной работы является проведение исследования естественного теплообмена в верхних слоях грунта в Московской области.

В рамках цели поставлены задачи по созданию экспериментальной установки и программного обеспечения для получения распределения температуры по глубине верхних слоев грунта и определения погрешности измерений, а также задача по анализу получаемых результатов.

Экспериментальный стенд состоит из температурного зонда, длиной 1,5 метра, помещенного в грунт, и вычислительного комплекса. Зонд состоит из полиэтиленовой трубы 20×2 мм в которую помещены 14 термисторов MF52A-103J3950, спаянных в электрическую цепь и герметизированных эпоксидной смолой. Каждый термистор последовательно спаян с постоянным резистором сопротивлением 62±3 Ом, образуя делитель напряжения. Сопротивление всех 14 делителей в режиме измерения подключенных параллельно к источнику напряжения при комнатной температуре составляет 5,1 кОм, а сигнальной линии, по которой питается зонд, на значительно меньше и составляет 4,2 Ом. Измерение напряжения проводится 12 bit АЦП встроенным в микроконтроллер STM32f103c8t6. Написана программа на языке C++ для микроконтроллера, управляющая процессом измерения. Цикл измерения заключается в подаче напряжения на зонд, последовательном измерении напряжения на каждом делителе (99 обходов в течение 1 секунды), отключения напряжения, расчет среднего квадратического отклонения [2], передаче данных на компьютер по интерфейсу UART и ожидании 3599 с.

### **Литература**

1. Пурдин М. С., Павлова Е. А., Николаева А. Н., Муртазин Р. Э. Моделирование установившегося теплообмена в цилиндрическом однофазном аккумуляторе теплоты при колеблющемся граничном условии первого рода // Труды X международной школы-семинара «Энергосбережение — теория и практика». Москва, 19–23 октября 2020 г. с. 82–87.
2. ГОСТ Р8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений»

*А. Р. Галимова, И. Ф. Исхаков, студенты; В. Э. Зинуров, асп.;  
рук. О. С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВСТАВОК В ОТСТОЙНИКЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ**

На сегодняшний день, очистка сточных вод на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и энергетических предприятиях от нефтепродуктов является одной из трудно решаемых экологических и технологических проблем. Стремительное ухудшение экологической обстановки требует немедленного предотвращения сброса большого количества сточных вод во внешнюю среду. Решение этой проблемы возможно только путём внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий на всех уровнях производственных процессов.

Наиболее распространёнными и в то же время трудноудаляемыми загрязнениями являются тонкодисперсные взвеси, представляющие собой компоненты нефти размером менее 100 мкм. Одними из наиболее распространенных аппаратов для разделения водонефтяных эмульсий являются отстойники. Повышение эффективности их работы является актуальной задачей. Использование различных вставок в отстойниках повышает эффективность их работы [1–2]. Поэтому целью работы является исследование различных видов вставок для отстойников.

В работе показано, что применение различных вставок в отстойнике позволило увеличить скорость и эффективность разделения водонефтяных эмульсий при увеличении концентрации нефти в исходной смеси с 15 до 25%. Скорость разделения водонефтяной эмульсии при использовании вставок из высокопористого ячеистого материала и перегородок относительно отстойника без вставок увеличивалась в среднем на 10,9 и 14,5% соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-616.2020.8.

### **Литература**

1. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Харьков В.В., Галимова А.Р.** Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 7. С. 61–64.
2. **Зинуров В.Э., Галимова А.Р.** Повышение эффективности разделения водонефтяной эмульсии в горизонтальном отстойнике // Булатовские чтения. 2020. Т. 5. С. 94–96.

*А. Д. Лобов, студ.; рук. В. С. Глазов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **НЕСТАЦИОНАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА АККУМУЛЯЦИЮ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ**

В настоящее время при возведении новых зданий и сооружений используются многослойные конструкции. Они позволяют обеспечить заданные условия микроклимата в их помещениях при условии, что сопротивление теплопередачи наружных ограждений, соответствует требованиям действующих СНиП. Поскольку сопротивление теплопередачи не зависит от последовательности расположения слоев в наружном ограждении, но влияет на его аккумулирующую способность, а значит и на величину тепловой энергии, необходимую для поддержания комфортных условий, поэтому исследования, направленные на изучение данного факта, который не отражен в должной мере в СНиП, являются актуальными.

В качестве объекта исследования была выбрана двуслойная стенка здания, находящегося под нестационарным воздействием внешней среды. Предметом исследования являлся процесс нестационарного теплообмена через плоскую стенку, математическая модель которого включает нестационарное уравнение теплопроводности и граничные условия третьего рода, учитывающие период резкого похолодания в январе 2017 г. Процедура решения этой задачи состояла из 3 этапов. На первом этапе был совершен переход от двухслойной стенки к эквивалентной однослойной модели в соответствии с известной методикой [1]. На втором этапе, при помощи пакета Maple, была получена функция, описывающая распределение температуры по толщине однослойной модели. На последнем этапе найденная функция использовалась для определения изменения количества тепла, аккумулированного стенкой во времени в зависимости от последовательности расположения в ней слоев, обладающими разными теплофизическими свойствами.

В результате было установлено, что для холодных широт наиболее эффективное расположение слоев в наружном ограждении здания должно быть таким, чтобы по мере приближения к наружному воздуху тепловая эффективность слоев (произведение коэффициента теплопроводности на объемную теплоемкость) увеличивалась. В этом случае теплосодержание ограждающей конструкции будет ниже по сравнению с противоположной последовательностью расположения слоев, что должно повысить энергетическую эффективность обеспечения комфортных условий в здании.

### **Литература**

1. **Глазов В. С., Колибаба О. Б., Яблоков А. А.** Приближенный метод построения температурного поля для многослойных систем / Сборник научно-информационных статей ИИСИ. — Иванов. инж. строит. ин-т. — Иваново, 1994. — 190 с.

*А. В. Шапкин, студ.; рук. М. В. Горелов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСТЫВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ**

В зданиях, которые выполнены из современных строительных материалов, и оборудованы ИТП, существует возможность снижения общей тепловой нагрузки при подключении к наружным тепловым сетям. Это возможно благодаря использованию теплоаккумулирующей способности здания для покрытия пиковых расходов теплоты в системе ГВС.

В [1] представлено теоретическое описание понятие теплоаккумулирующей способности здания и способа расчета коэффициента тепловой аккумуляции. Согласно определению, коэффициент тепловой аккумуляции здания — это период времени, в течение которого при включенном отоплении, разность температур внутреннего и наружного воздуха уменьшается в 2,72 раза.

Цель настоящей работы — моделирование процесса остывания помещения при различных граничных условиях и сравнение полученных результатов с расчетами по формулам, приведенным в [1]. Моделирование процессов остывания помещения было выполнено в программном комплексе COMSOL MULTIPHYSICS.

В [1] сказано, что коэффициент тепловой аккумуляции зависит только от массы и теплоемкости конструкций. Однако данное утверждение в результате проведенных исследований, справедливо только при соблюдении следующих условий:

1. все конструкции, аккумулирующие теплоту, имеют один температурный уровень;
2. наружные ограждения состоят из одного материала;
3. средняя температура наружных ограждений в любой момент времени равна среднему значению между температурой наружного и внутреннего воздуха.

В остальных же случаях значение коэффициента тепловой аккумуляции, будет принимать различные значения, в зависимости от момента времени.

### **Литература**

1. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. М.: Издательство МЭИ, 2001. — 472 с.



*К. Е. Петрова, соиск.;  
рук. В. Н. Бакунин, д.х.н., с.н.с. (АО «ВНИИ НП, Москва)*

## **АНАЛИЗ ОГНЕСТОЙКОГО ТУРБИННОГО МАСЛА ТИПА ОМТИ**

Огнестойкие турбинные масла представляют собой синтетические жидкости на основе триарилфосфатов, которые используются в маслосистемах атомной и тепловой электростанциях.

В настоящее время энергетическая отрасль РФ на 100% потребляет огнестойкие турбинные масла типа ОМТИ только импортного производства, при этом также остро стоит вопрос утилизации данных отработанных масел.

Физико-химические и эксплуатационные свойства масла типа ОМТИ (на основе триксиленилфосфатов) определяются изомерным составом исходного сырья — фракции ксиленолов, которое получают из каменноугольного сырья. Для масла ОМТИ указывалось преимущественное содержание 3,5-диметилфенолов до 75%.

Для количественного и качественного химического анализа триарилфосфатов и масел на их основе чаще всего используется метод исчерпывающего омыления эфира с последующим анализом выделенных ксиленолов методом газо-жидкостной хроматографии, однако достаточно жесткие условия процесса (сильные щелочи, высокие температуры) могут изменить соотношение образующихся изомеров [1].

В настоящей работе разработана быстрая, неразрушающая методика, которая обеспечивает качественную идентификацию изомерного состава триксиленилфосфата по спектрам ЯМР  $^{13}\text{C}$  и количественное определение этил-замещенных производных и 3,5-диметилфенилфосфата по спектрам ЯМР  $^1\text{H}$  в свежем масле.

Методика апробирована на свежем и отработанном негорючем турбинном масле. Сопоставление спектров ЯМР  $^{31}\text{P}$  показывает, что деградация негорючего турбинного масла при эксплуатации происходит по механизму гидролиза. Определение количества ОН-групп в эксплуатационном масле возможно методом ИК-спектроскопии. Постановка систематических исследований в этом направлении позволит выработать способы подавления этой нежелательной реакции и методы регенерации отработанных масел.

### **Литература**

1. **ГОСТ 20843.2-89.** Продукты фенольные каменноугольные. Газохроматографический метод определения компонентного состава дикрезолола, трикрезолола и ксиленолов.

**Секция 36**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЕ**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**  
**Industrial heat power engineering systems**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Яворовский Юрий Викторович*

*Секретарь секции: к.т.н. Жигулина Екатерина Валериевна*

*А. Ю. Лихаева, И. С. Соколов, асп.;*  
*рук. А. В. Рыженков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **О СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Перспективным направлением для внедрения технологий, повышающих надежность и энергетическую эффективность систем теплоснабжения, является теплообменное оборудование. Теплофикационное оборудование ТЭС характеризуется чрезвычайно высокой степенью изношенности: 30 и более лет эксплуатируется 75% всей установленной мощности ТЭЦ, а 40 и более лет — 41% [1].

Анализ научно-технических публикаций показывает значительный интерес к разработке способов интенсификации теплообмена в области повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Отмечено, что наиболее перспективным способом с технико-экономической точки зрения является формирование гидрофильных и бифильных поверхностей с созданием многоуровневого рельефа.

В настоящее время разработан способ формирования гидрофобного покрытия на металлических поверхностях посредством текстурированного рельефа с требуемыми геометрическими параметрами (в виде сетки, линий и др.) с использованием лазерного оборудования. Так, в результате тестовых испытаний были получены гидрофобные латунные поверхности с значениями угла смачивания 145–146° [2].

В дальнейшем планируется разработать способы интенсификации теплообменных процессов на основе бифильных (гидрофильная поверхность с гидрофобными участками) функциональных поверхностей, выполнить экспериментальные исследования, на основании результатов которых выявить влияние различных термогидродинамических характеристик теплообменного оборудования и определить оптимальные параметры лазерного излучения при формировании бифильной поверхности.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России по заданию № FSWF-2020-0021 «Разработка научно-технических основ интенсификации теплообмена при конденсации и повышения термогидродинамических характеристик и износостойкости энергетического оборудования на основе модификации функциональных поверхностей».

### **Литература**

1. Отчет о мониторинге прогноза научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 года в 2019 году.
2. Ryzhenkov A. V. et al Hydrophobic brass surfaces created by means of multi-scale relief. International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. p. 58–70.

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

## ПРЕИМУЩЕСТВА РАБОТЫ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

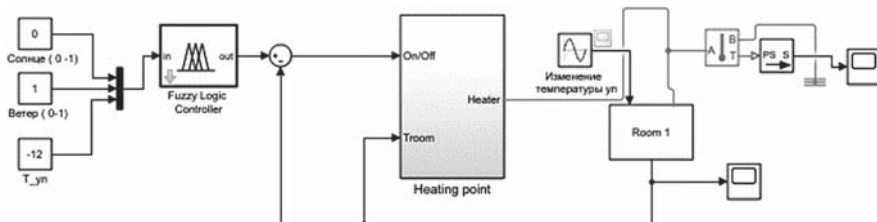


Рис. 1. Моделирования схемы в Matlab

Одним из вариантов улучшения характеристик системы регулирования отпуска теплоты является использование нечетких регуляторов вместо традиционных П, ПИ, ПИД [1]. Основным преимуществом регулирования, основанного на нечеткой логике является то, что такие системы становятся гибкими, за счет того, что работают согласно набору нечетких правил, которые представляют собой зависимость лингвистических переменных от физических величин. Благодаря нечетким правилам появляется возможность оценивать состояние окружающей среды и более гибко подрегулировать систему отопления, таким образом, чтобы регулирование происходило не только по изменению температуры наружного воздуха, но и по другим значимым параметрам: силе ветра, солнечной инсоляции. Так, при отсутствии ветра и солнечной погоде, для устранения «перетопа» возможно снизить нагрузку на систему отопления, а при наличии сильного ветра или высокой облачности, наоборот, необходимо повысить нагрузку.

Для моделирования функционирования данного решения использовалась программная среда Matlab Simulink. Разработана динамическая модель системы отопления помещения. Тепловые потери через ограждающие конструкции рассчитываются с помощью решения системы уравнений конвекции и теплопроводности. Для моделирования нечеткого регулятора используется блок Fuzzy Logic Controller.

Определено, что нечеткий регулятор позволяет организовать систему регулирования отпуска теплоты более гибкой, при использовании нечеткого регулятора по сравнению с обычным улучшились такие показатели как: время регулирования снизилось на 90,5%, статическая ошибка снизилась на 0,8°C динамическая ошибка снизилась на 0,62°C

### Литература

1. **Ротач В. Я.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами — учебник для вузов М. Энергоатомиздат. 1985. — 296 с.

*М. Э. Иванов, студ.: рук. А. В. Рыженков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СПИРАЛЬНОЙ НАВИВКИ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДА**

В настоящее время техническое состояние теплового хозяйства России характеризуется рядом проблем, которые оказывают отрицательное влияние на качество и энергоэффективность системы теплоснабжения. Высокий износ трубопроводов, отсутствие защитных и теплоизоляционных покрытий привели к большим потерям тепла и огромным затратам энергии на прокачку теплоносителя [1].



**Рис. 1.** Фотография пластиковой трубы со спиральной навивкой

Для решения проблем энергосбережения и повышения энергетической эффективности было принято положение о кардинальном повышении технического уровня систем теплоснабжения с использованием высокоэффективных технологий и инновационного оборудования [2]. Одним из перспективных способов снижения затрат энергии на прокачку теплоносителя является формирование навивки на внутренней поверхности трубопровода (рис. 1). Анализ научно-технических публикаций показал, что гидравлические свойства труб со спиральной навивкой изучены недостаточно. В настоящее время проводится серия экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров спиральной навивки и влиянию на величину гидравлического сопротивления трубопроводов систем теплоснабжения.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России по заданию № FSWF-2020-0021 «Разработка научно-технических основ интенсификации теплообмена при конденсации и повышения термодинамических характеристик и износостойкости энергетического оборудования на основе модификации функциональных поверхностей».

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России по заданию № FSWF-2020-0021 «Разработка научно-технических основ интенсификации теплообмена при конденсации и повышения термодинамических характеристик и износостойкости энергетического оборудования на основе модификации функциональных поверхностей».

### **Литература**

1. **Башмаков И. А.** Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения. М.: 2010.
2. **Федеральный закон** «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261 — ФЗ.

*К. Ф. Фазлиахметов, студ.;*  
*рук. А. В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*  
*А. А. Михин, аспирант, (СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛА В ASPEN PLUS**

Одним из эффективных методов решения широкого спектра задач, относящихся к высокотемпературным процессам и установкам, является математическое моделирование, выполняемое в программно-вычислительных комплексах. К числу этих комплексов, разработанных в технологии визуальной программирования, относится и интерактивная информационно-моделирующая среда Aspen Plus. Данная среда обеспечивает возможность моделирования процессов, основанных на химическом и фазовом превращении, позволяет выполнять конструктивные расчеты и оценку стоимости оборудования. Для анализа основных энергетических показателей конденсационной установки и оптимизации ее режимов работы было выполнено моделирование приоритетной схемы в среде Aspen Plus.

Верификация расчетной модели выполнена для схемы котла ПТВМ-100 без и с подключенной утилизационной установки при работе в отопительном режиме. В качестве исходных данных приняты результаты проведенного обследования котельных агрегатов. В среднетемпературном режиме подключенная отопительно-вентиляционная нагрузка составляет 44,6 Гкал/ч, нагрузка горячего водоснабжения — 7 Гкал/ч. Проведенные расчеты показывают, что при использовании конденсационного котла достигается тройной энергетический эффект: используется физическая теплота уходящих газов; используется выделяющаяся при конденсации скрытая теплота парообразования; используется конденсат, выделяющийся из дымовых газов.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- За счет повышения температуры воздуха на горение снижаются потери с уходящими газами, повышается КПД котла.
- Подогрев обратной воды перед котлом снижает нагрузку на котел и снижается расход топлива.
- Наибольший эффект имеется при конденсации водяных паров в уходящих газах.
- Наибольший эффект имеет место в системах с открытой системой теплоснабжения, с высокой нагрузкой на горячее водоснабжение.

*С. Э. Авдеев, студ.;*

*рук. Н. А. Логинова, к.т.н. доцент каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАКА-АККУМУЛЯТОРА В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

Работа посвящена анализу эффективности использования бака-аккумулятора в индивидуальных системах отопления малоэтажных зданий с электрическим и твердотопливным котлами. Выявлено, что использование бака-аккумулятора в системах отопления (СО) в обоих случаях является целесообразным и актуальным. Во многом обусловлено это тем, что проблема газификации остается нерешенной на сегодняшний момент для огромного числа населенных пунктов Российской Федерации [1]. Альтернативой индивидуальному газовому отоплению могут служить СО с использованием электрических или твердотопливных котлов. Вместе с тем их использование может сопровождаться рядом проблем. Использование электрических котлоагрегатов (КА) сопряжено с большими финансовыми затратами из-за высоких тарифов на электроэнергию. В СО с твердотопливным КА регулирование температуры теплоносителя возможно только с помощью заслонки подачи окислителя, что приводит к неполному сгоранию топлива, отложениям на теплопринимающих поверхностях сажи, выделении повышенного количества оксида углерода, вследствие чего снижается КПД системы.

Использование бака-аккумулятора в СО с электрическим КА позволяет аккумулировать необходимую для суточного отопления теплоту ночью, что приводит к снижению расходов на отопление частного дома на 40%. При этом срок окупаемости бака-аккумулятора может составлять один отопительный сезон. Использование бака-аккумулятора в СО с твердотопливным КА играет не менее важную роль из-за возможности регулирования температуры теплоносителя, вследствие чего КА может постоянно работать в номинальном режиме, что приводит к более полному сгоранию топлива, снижению выбросов и отложений и, как следствие, повышению КПД системы и ресурса самого котла [2]. Также стоит отметить меньшие трудозатраты на обслуживание КА и загрузку топлива.

### **Литература**

1. **Бобылева Т. А., Хрипунова А. С.** Исследование проблемных вопросов газификации России и способов их решения // Вестник университета, 2016, № 7–8, с. 12–18
2. **Липов Ю. М., Третьяков Ю. М.** Котельные установки и парогенераторы: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2005.

*О. С. Пиронко, А. Ж. Овакимян студенты;  
рук. В. Г. Хромченков ст. пр. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА «СТУПИНО-ОСТАНКИНО»**

Целью данной работы было энергетическое обследование мясоперерабатывающего завода и предложение мер, направленных на энергосбережение. Достижение поставленной цели состояло из следующих этапов: анализ потребления и затрат на энергоносители и воду, по которому был рассчитан тепловой баланс и приведены характеристики зданий завода. Проведен подбор оборудования для использования пара от конденсатного бака главного производственного корпуса. Рассчитана экономия при изоляции бака аккумулятора и утилизации тепла непрерывной продувки котлов. Дана оценка разработанным методам энергосбережения.

Горячая вода системы горячего водоснабжения главного производственного корпуса готовилась в тепловом пункте корпуса. Подогрев исходной воды двухступенчатый: сначала конденсатом из конденсатного бака, куда он поступал от технологических потребителей пара, а затем паром до заданной температуры 55°C. Обследование теплового пункта главного производственного корпуса показало, что из конденсатного бака в атмосферу выбрасывается значительное количество пара не менее 20–30 кг/ч. Было предложено использовать тепло выпара для подогрева холодной воды, перед первой ступенью подогрева в теплообменнике, аналогично как это происходит в охладителе выпара деаэраатора [1]. Кроме экономии тепловой энергии, в этом случае экономится и химочищенная вода за счет увеличения доли возврата конденсата в котельную [2]. Проведенные расчеты показали, что даже с учетом минимальной величины выпара — 20 кг/ч, годовая экономия тепла составит 98,1 Гкал, или 13,3 тыс. м<sup>3</sup> природного газа. В финансовом отношении экономия составит 73,0 тыс. рублей без учета экономии химочищенной воды (175,0 тонн в год). При затратах на установку охладителя, (типа ОВ-2) 70,0 тыс. рублей, простой срок окупаемости составит 1 год.

### **Литература**

1. **Вакулко А. Г.** Методические материалы для энергоаудита. М.: Издательский дом МЭИ, 1999. С. 144.
2. **Соколов Б. А.** Котельные установки и их эксплуатация. Учебник для нач. проф. образования. 2-е изд., испр. М.: Академия, 2007.



*С. А. Дронов; В. Э. Панарин; Д. В. Семин, студенты;  
рук. А. В. Федюхин, к. т. н., доцент, (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ РОТОРНОГО ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Системы газораспределения представляют собой комплекс различного технологического оборудования и инфраструктуры, которые важным образом связаны между собой. Одной из главных составляющих системы газораспределения являются газораспределительные пункты (ГРП). Для работы ГРП необходима электроэнергия. Электроэнергия, подводимая к ГРП расходуется прежде всего на систему освещения и электрообогрева, охранную и пожарную системы безопасности, а также на системы автоматического регулирования. Суммарное потребление электроэнергии на таких объектах всего несколько кВт.

Целесообразность выбора способа электроснабжения зависит от многих факторов, но автономный источник электроснабжения наиболее предпочтителен, так как его работа не зависит от условий окружающей среды.

Из-за низкого потребления электроэнергии объектом ГРП для решения задачи его автономного электроснабжения мною предлагается вариант установки в байпасную линию роторного детандер-генераторного агрегата малой мощности, работу над которым ведет ООО «Дельта П», ей же принадлежит патент на устройство [1]. В настоящее время создан опытный образец устройства, его номинальная электрическая мощность составляет 1 кВт.

Перед изготовлением опытного образца, мною была создана статическая математическая модель системы в среде Aspen HYSYS, которая показала, что для теплого периода года для выработки 1 кВт в ДГА нужно подавать 455,7 кг/ч природного газа, а в холодный период года 384,7 кг/ч. Также с помощью этой модели я получил графики зависимости электрической мощности ДГА от массового расхода энергоносителя.

### **Литература**

1. ООО «Дельта П» / Черных А. С., Герашенко А. Г., Федюхин А. В., Султангузин И. А., Карасевич В. А. Патент на изобретение № 2732275 от 14.09.2020: Детандер-генераторный агрегат.

*Е. Н. Сметанина, аспирант;  
рук. Ю. В. Яворовский к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

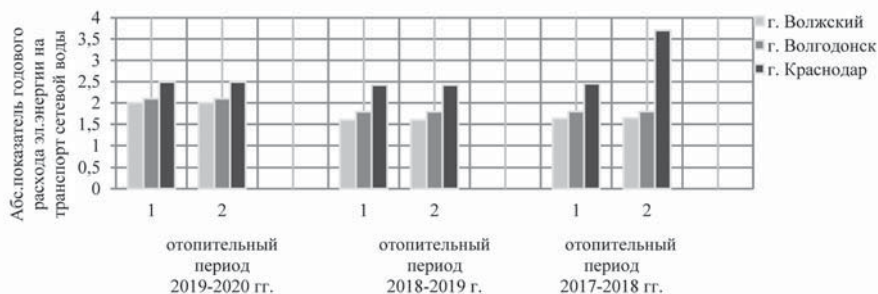
## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ РОССИИ

В соответствии с Энергетической стратегией РФ на период до 2035 года, в комплексе ключевых мер, обеспечивающих решение задач теплоснабжения приоритетным является повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения с учетом приоритета повышения уровня когенерации [1].

В работе проанализированы показатели энергоэффективности систем теплоснабжения городов России (суммарная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, годовой расход электроэнергии на транспорт сетевой воды) при переходе таких систем с качественного режима регулирования тепловой нагрузки на количественный и качественно-количественный режимы.

Анализ отопительных периодов 2017–2018, 2018–2019, 2019–2020 гг. показал, что затраты на транспорт сетевой воды при предлагаемых режимах регулирования тепловой нагрузки меньше затрат на транспорт при качественном режиме при практически одинаковых значениях суммарной выработки электроэнергии, развиваемой на тепловом потреблении (рис. 1).

При условии высокого качества функционирования автоматики на абонентских установках потребителя переход систем с качественного режима регулирования тепловой нагрузки на предлагаемые режимы регулирования городов будет являться индивидуальным для каждой системы и одним из приоритетных направлений модернизации области теплоснабжения.



**Рис. 1.** Абсолютный показатель годового расхода электроэнергии на транспорт сетевой воды городов России при качественном/количественном (1) и качественном/качественно-количественном (2) режимах по данным отопительных периодов 2017–2018, 2018–2019, 2019–2020 гг.

### Литература

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года.

*Н. Л. Бударин, студ.; рук. В. Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГУБТ ПРИ СУХОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА**

Потенциальная энергия доменного газа наиболее эффективно может быть использована в специальных газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ) для выработки электроэнергии, в которых сжатый доменный газ служит рабочим телом. Давление доменного газа перед турбиной составляет 0,2–0,35 МПа, после ГУБТ — 0,112 МПа. Температура газа на выходе из доменной печи составляет 250–350°C. Для обеспечения нормальной работы турбины без отложений пыли в ее проточной части, газ должен быть очищен до 5–7 мг/м<sup>3</sup>. Такая очистка может быть достигнута в так называемой «мокрой» газоочистке, включающей в себя охладительный скруббер и трубы Вентури, в которых доменный газ охлаждается до 40°C, а также сложное и дорогостоящее оборудование шламового хозяйства. Расход охлаждающей воды при этом очень большой и составляет 5–7 кг воды/кг сухого газа [1].

Увеличить эффективность использования ГУБТ можно с помощью «сухой» очистки доменного газа. Однако ее разработка и внедрение были приостановлены из-за несовершенства схем использования. Дело в том, что если установить сухую газоочистку, температура газа за турбиной, при указанных параметрах газа перед турбиной, составит 120–220°C, что существенно превышает допустимые значения для трубопроводов доменного газа (70°C). Установка же охладительного скруббера с водооборотным циклом резко усложняет и удорожает схему и не дает видимых преимуществ перед традиционной. Расход охлаждающей воды лишь немногим меньше, чем в случае применения мокрой газоочистки. Это является причиной того, что устройства для сухой очистки доменного газа до сих пор не были построены в России и за рубежом.

Авторами предложена схема использования ГУБТ с сухой газоочисткой и испарительным охлаждением доменного газа перед турбиной. Разработана методика расчета процесса расширения влажного доменного газа в турбине и проведены соответствующие расчеты.

### **Литература**

1. **Сазанов Б. В.** Доменные газотурбинные установки. — М.: Металлургия, 1965.

*В. А. Петров, студ.; В. Ю. Чайкин студ.; А. В. Кирдяшкин, асп.;  
Б. А. Христенко, асп.; рук. И. А. Султангузин, д.т.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»); Е. А. Демидов конс. (Компания Энергон)*

## **РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ЗДАНИИ БИБЛИОТЕКИ МЭИ**

В работе был произведен расчет фотоэлектрической системы в программном пакете PV\*Sol Premium и спроектирован на фасад и крышу научно-технической библиотеки МЭИ. В ходе работы произведен анализ эффективности технологий внедрения фотоэлектрических систем, а также оценка технико-экономический эффекта от дальнейшего использования солнечной электростанции в виде дополнительного источника энергии.

Согласно энергетическому обследованию ООО «Интехэнерго-аудит» объектов МЭИ от 2013 года расход на освещение НТБ «МЭИ» за 2013 г. составил 182 тыс. кВт\*ч за год. В результате применения типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности можно снизить нагрузку до 121 тыс. кВт\*ч. Для рационального использования фотоэлектрической системы необходимо провести такие быстро окупаемые энергосберегающие мероприятия, как замена люминесцентных ламп и ламп накаливания на светодиодные, установки датчиков движения в отделах хранения литературы и коридорах.

При расчёте солнечных панелей в программном пакете PV\*Sol Premium, мы поняли, что фасад дома позволяет нам поставить 115 фотоэлектрических модуля под углом 90°, которые будут выдавать нам 25 тыс. кВт/год, что на 13.8% сократит потребление электроэнергии здания до мероприятий по энергосбережению. Солнечная электростанция на техническом этаже позволяет поставить 65 фотоэлектрических панели под углом 36°, которые будут выдавать нам 20 тыс. кВт/год, что на 11% сократит потребление здания солнечной энергией. Оценка технико-экономического эффекта показывает, что суммарные инвестиционные затраты на установку солнечной электростанции на фасаде дома составят 1.8 млн рублей, а на крыше технического этажа 1.1 млн рублей.

При сотрудничестве с Компании Энергон, которая предоставит солнечные панели, выгодным будет решение установить их на фасаде здания, как маркетинговый и имиджевый ход для института, а также он придаст современный вид зданию. В дальнейшем можно будет производить водород для использования его в тепло- и электроснабжении здания.

*В. А. Петров, студент;  
рук. В. Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ КОТЛАМИ КОТЕЛЬНОЙ**

В настоящее время в России и за рубежом в силу ряда причин актуальным становится энергоресурсосбережение. Энергоаудит промышленного предприятия или одной из его систем является действенным способом снижения энергетических затрат на производство единицы продукции. В случае наличия собственного источника производства тепловой энергии на предприятии, большое значение имеет организация ее выработки с минимальным расходом топливно-энергетических ресурсов.

Практика проведения энергетических обследований показывает, что одним из наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий при производстве тепла на промышленных котельных является обеспечение оптимальной загрузки находящегося в работе котельного оборудования. К сожалению, данное высокоэффективное энергосберегающее мероприятие практически не используется. Одной из основных причин такого положения является отсутствие разработанного программного обеспечения, позволяющего проводить соответствующие оптимизационные расчеты, а также недостаточный уровень персонала, работающего в котельной.

Авторами была разработана программа, задачей которой является распределение заданной общей тепловой нагрузки котельной между котлами, так что бы суммарные затраты на топливо и электроэнергию были наименьшими.

Программа решает задачу минимизации с ограничениями типа неравенств и равенств модернизированным методом золотого сечения.

Для решения задачи нужны следующие исходные данные:

1. Общая тепловая нагрузка котельной (диапазон нагрузок), которую требуется распределить между котлами.
2. Минимально возможная и максимально возможная тепловая нагрузка каждого котла.
3. Характеристики каждого котла:  $b = f(Q)$  — зависимость удельного расхода топлива  $b$  (кг/Гкал) от тепловой нагрузки котла  $Q$  (Гкал/ч). Которая дальше аппроксимируется и вводятся полиномы данной функции. Эти характеристики находятся из анализа данных режимных карт котлов. Указанные исходные данные вводятся в диалоговом окне программы, после чего программа запускается в работу, и мы получаем требуемый результат.

Таким образом, мы получаем оптимально распределенную нагрузку котельной между котлами, вместо одинаково загруженных котлов, чем вследствие этого экономим топливно-энергетические ресурсы предприятия.

*Р. Р. Сагитов, студ.; Е. Ю. Каткова, студ.;*  
*рук. А. Я. Шелгинский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Основная проблема использования пластинчатых рекуператоров перекрестного тока в российских климатических условиях — это обмерзание проточной части теплообменника. Иней, образующийся в каналах рекуператора, увеличивает аэродинамическое сопротивление — расход воздуха падает, а эффективность теплообменника значительно снижается.

Обычно для решения этой проблемы применяют предварительный подогрев воздуха, однако, это негативно сказывается на эффективности системы. В мире активно идет разработка противообледенительных покрытий как для вентиляции, так и для других технических применений. Например, для авиации, для строительства воздушных линий электропередач и для строительства ветряных электростанций.

В статье [1] исследователям удалось уменьшить массу образываемого на крыле ветряной турбины льда на 24%, используя гидрофобное силикон-акрилатное покрытие. Образование льда замедляется благодаря гидрофобным свойствам покрытия, угол смачивания наиболее удачного образца составлял 154°. Таким образом, капли жидкости покидают поверхность быстрее и не успевают примерзнуть к ней. В исследовании [2] показано, что статичные капли могут оставаться в переохлажденном состоянии на гидрофобном покрытии вплоть до температуры -12,4°C.

В данной работе проведен расчет конкретной системы вентиляции для здания в Красноярске с расчётной тепловой нагрузкой 1602 кВт и расходом 19,4 кг/с. Если противообледенительные свойства, подобные рассмотренным в статьях выше, можно придать и поверхностям, непосредственно взаимодействующим с конденсатом в рекуператоре, это позволит понизить температуру приточного воздуха на входе в рекуператор, при которой начинается обмерзание. Если понизить эту температуру с 0°C до -2°C, эффективность рекуперации в этой системе вентиляции возрастет на 4%, это уменьшит тепловую нагрузку на систему вентиляции на 800,576 ГДж в год.

### **Литература**

1. **Ke X.** Anti-Icing Performance of Hydrophobic Silicone-Acrylate Resin Coatings on Wind Blades // *Coatings*. 2018. Т. 8. с. 151.
2. **Marcella B.** A Novel Simple Anti-Ice Aluminum Coating: Synthesis and In-Lab Comparison with a Superhydrophobic Hierarchical Surface // *Coatings*. 2020. Т. 10. с. 111.

*Е. А. Шелгинский, студ.;  
рук. Ю. В. Яворовский, к.т.н., доц. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ**

Азотная кислота является одним из самых крупнотоннажных продуктов химической промышленности. На основе азотной кислоты производятся нитратные азотные удобрения (аммиачная селитра и ее модификации) и удобрения, содержащие азот, калий и фосфор (комбинированные удобрения).

Основная масса неконцентрированной азотной кислоты (58–60%  $\text{HNO}_3$ ) производится на агрегатах УКЛ-7 (с единым давлением в системе) и АК-72 (комбинированная система).

Мощность тепловых потерь в производстве кислоты составляет 49,75 МВт. Около половины выбрасывается в окружающую среду через градирню водооборотного цикла, ВОЦ. В частности, при охлаждении воздуха после осевого компрессора с 174°С до 42°С через ВОЦ выбрасывается тепловой поток мощностью 3,563 МВт. Для снижения тепловых потерь в [1] разработана система подогрева питательной воды перед котлом-утилизатором мощностью 1,33 МВт теплотой сжатого воздуха после осевого компрессора. При этом температура воздуха снижается до 134,5°С. В этой системе используется принцип работы гладкостенных тепловых труб (термосифонов).

В данной работе предлагается использовать оставшийся тепловой поток мощностью 2,553 МВт в системе теплохладоснабжения предприятия, СТХС. Расчеты показали, что в СТХС можно полностью обеспечить тепловые нагрузки отопления, вентиляции, ГВС производственного цеха, а также получить холод за счет использования абсорбционной холодильной машины (АБХМ) для систем кондиционирования и электроэнергию путем использования детандер-генераторного агрегата (ДГА). Предлагаемая СТХС позволит эффективно использовать тепловые ВЭР производства и получить дополнительную электроэнергию, что существенно отразится на технико-экономических показателях предприятия.

### **Литература**

1. **Шелгинский Е. А., Яворовский Ю. В.** Анализ эффективности использования энергоносителей в производстве азотной кислоты // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга”», 2020. С. 684.

*А. Г. Звончевский, студ.;*  
*рук. А. Я. Шелгинский, д.т.н., проф. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДГА В ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ**

Химическая промышленность является одной из самых энергоемких отраслей промышленности, относится к базовой отрасли экономического потенциала России. Оценка эффективности энергоиспользования показала, что в химических производствах доля потерь составляет около 35%. Этим и определяется актуальность темы работы.

В работе рассмотрен один из вариантов модернизации технологического цикла производства для достижения лучших энергетических и экономических показателей эффективности по использованию топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Произведен анализ энергоиспользования ТЭР на одной линии производства химических удобрений (аммофос) производительностью 27,5 т/ч, исследовались тепловые потоки вторичных энергоресурсов (ВЭР) с целью совершенствования энерготехнологической системы по эффективному использованию тепловых ВЭР. Потери тепловой мощности в данном производстве составили 9 МВт или 41,6% от поступившей в систему.

Снижение потерь тепловой мощности возможно достичь за счет модернизации схемы тепловых потоков в исходной технологической системе производства. Тепловые потоки ВЭР использовать для нагрева воды до температуры 90°C, как промежуточного теплоносителя, передающего эту теплоту соответствующим потребителям: отопление, вентиляция, ГВС производственного цеха и детандер-генераторному агрегату (ДГА) для выработки электроэнергии [1]. В качестве теплоносителя контура ДГА предлагается использовать фреон R717, который испаряется в теплообменном аппарате при давлении 35 бар и температуре 67°C. Образовавшийся пар срабатывает в детандере, находящийся на одном валу с электрогенератором, который вырабатывает 200 кВт электрической мощности [2]. Разработанное техническое решение позволяет на основе эффективного использования тепловых ВЭР полностью обеспечить отопление, вентиляцию, ГВС производственного цеха и вырабатывать 1,5 млн кВт·ч/год электроэнергии.

### **Литература**

1. **Овсянник А. В.** Турбодетандерная установка на диоксиде углерода с производством жидкой и газообразной углекислоты. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 1. С. 77–87. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-77-87>
2. **Мартынов А. В.** Установки для трансформации тепла и охлаждения: Сборник задач: Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергомашиздат, 1989. — 200 с.



*Е. В. Кананыхина, студ.; рук. А. Ф. Прищепов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КОТТЕДЖА НА ОСНОВЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**

В последние десятилетия расширяется использование автономных систем теплоснабжения, обслуживающих одно здание. Работа посвящена разработке автономной системы теплоснабжения коттеджа, находящегося в городе Краснодар, на основе теплонасосной установки.

В качестве объекта исследований был рассмотрен одноэтажный кирпичный дом площадью 90 м<sup>2</sup>. Был произведен расчет нагрузки на систему отопления коттеджа, суммарная тепловая нагрузка составила  $Q=8,018$  кВт. Для этого были определены климатические характеристики района, необходимые значения температур внутреннего и наружного воздуха. После проведен расчет теплопотерь через ограждающие конструкции, определено количество теплоты, необходимого на инфильтрацию воздуха и общие тепловыделения. [1]. Существует несколько источников низкопотенциального тепла (вода, грунт, воздух) [2]. Для рассмотренных трех альтернативных источников были подобраны тепловые насосы «вода-вода», «грунт-вода», «воздух-вода». В качестве системы отопления были рассмотрены радиаторная система и теплый пол, в ходе чего произведен гидравлический расчет и подобраны циркуляционные насосы [3].

Наименьшие затраты для теплоснабжения загородного дома получены для телового насоса «воздух-вода», так как не требует осуществления дорогостоящих земляных работ и он прост в установке. Эти тепловые насосы используют тепловую энергию наружного воздуха. Теплоносителем является вода. Также он имеет широкий диапазон наружной температуры от -25 до +48 и нагревает воду от +30 до +80. Системой отопления коттеджа было принято решение сделать теплый пол. Эта система обеспечивает наиболее комфортные условия для проживания.

### **Литература**

1. **А. Я. Шелгинский.** «Системы отопления жилых, общественных и производственных зданий». — М.: МЭИ, 2012.
2. **Е. Г. Гашо, А. С. Козлов, В. С. Пузаков, Р. Н. Свешников, М. В. Степанова.** «Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуры».
3. **Богословский В. Н., Сканави А. Н.** «Отопление» 1991.

*А. М. Васильева, студ.; рук. Е. В. Жигулина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Актуальность данной тематики в мире обуславливается началом трансформации глобальной энергетической системы с целью увеличения в ней доли возобновляемых источников, декарбонизации и снижения выбросов парниковых газов на фоне стремительного изменения климата и истощения запасов ископаемого топлива. Надежность энергосистем некоторых стран уже сегодня зависит от поставок энергии от возобновляемых источников и технической способности осуществления ее хранения. Аккумуляторы с газообразным водородом является одним из наиболее перспективных способов хранения.

В данной работе был проведен обзор новейших мировых достижений в области применения водородных технологий для автономного энергообеспечения. Проведено расчетное исследование применимости технологии производства, аккумуляирования и использования водорода для обеспечения автономного энергопотребления. В качестве объекта было выбрано здание — жилой дом, находящийся в поселке Чокурдах Республики Саха. Здание не имеет подключения к каким-либо внешним инженерным сетям, на кровле расположены солнечные панели, избыток энергии отправлен на длительное хранение с помощью водорода. В ходе исследования было определено электро- и теплотребление здания. Были предложены схемы решения автономного теплоснабжения, а также произведен сравнительный анализ теплоснабжения с применением возобновляемых источников энергии с традиционным теплоснабжением.

Результаты исследования показали, что мощность солнечной электростанции около 15 кВт и данная станция занимает всю кровлю здания, также установлены аккумуляторные батареи, емкостью 25 кВт·ч, топливные элементы, сезонный накопитель энергии, емкостью 350 кВт·ч. В работе проведен экономический анализ предлагаемых технических решений.

### **Литература**

1. **Budak Y, Devrim Y.** Evaluation of hybrid solar-wind-hydrogen energy system based on methanol electrolyzer. *Int J Energy Res.* 2020;44:10222–10237 DOI: 10.1002/er.5642
2. **Liu Y., Le Formal F., Boudoire F., Guijarro N.** Hematite Photoanodes for Solar Water Splitting: A Detailed Spectroelectrochemical Analysis on the pH-Dependent Performance *ACS Appl. Energy Mater.* 2019, 2, 6825–6833 DOI: 10.1021/acsaem.9b01261

*Е. Е. Кабина, студ.; рук. Е. В. Жигулина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОНОМНАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА МАЛОГО НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА НА БАЗЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На сегодняшний день в силу несогласованности графиков подвода и потребления энергии существуют определённые трудности, состоящие в создании энергетических установок для энергоснабжения автономных потребителей тепловой и электрической энергией за счет возобновляемых энергоресурсов. Поскольку солнечные и ветровые энергоустановки имеют неравномерный характер режима работы — необходимо иметь в наличии системы аккумулирования энергии, которые позволят удовлетворить нужды энергопотребителей по соответствующим графикам нагрузки.

Перспективным решением поставленной задачи может послужить применение водородных систем аккумулирования. Производимый электролизом воды с помощью электроэнергии от возобновляемых источников энергии, водород успешно аккумулируется в системе хранения и расходуется на производство электроэнергии по требующим графикам в топливных элементах и иных энергетических установках [1].

В работе проведено расчетное исследование автономной энергетической системы малого населенного пункта в республике Саха. Была предложена система, включающая в себя ветряные турбины, фотоэлектрические панели, электролизер и топливный элемент, водородный аккумулятор и системы распределения. Проведенные расчеты показали, что использование гибридных систем способны обеспечить тепловой и электрической энергией рассмотренных потребителей. Гибридные системы, работающие с использованием ресурсов ветровой и солнечной энергии, значительно улучшают эффективность и энергетическую надежность систем. В совокупности с тем фактом, что водород пригоден для длительного хранения, обладает высокой энергетической плотностью и исключает возможность выбросов  $\text{CO}_2$  при его сгорании — это то, что делает его актуальным в энергетическом использовании [2].

### **Литература**

1. Аккумуляция водорода и тепловой энергии в автономных солнечных и ветровых энергоустановках // Известия РАН. Энергетика.
2. Bilir L, Yildirim N. Modeling and performance analysis of a hybrid system for a residential application [Электронный ресурс] // Журнал, 2018 г. URL: <https://www.elibrary.ru/> (дата обращения: 10.10. 2018).

Л. А. Мирошников, студ.; рук. Е. Г. Гашо, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СВАЛОЧНОГО ГАЗА

Сегодня использование биогаза, вырабатываемого при хранении твердых бытовых отходов (ТБО) на полигонах принимает все более актуальность. Исследования показали, что образуется около  $190 \text{ м}^3$  биогаза из одной тонны ТБО, при этом первые 15–20 лет при разложении одной тонны ТБО выделяется до  $7,2 \text{ м}^3$  биогаза в год. В дальнейшем интенсивность выделения биогаза резко сокращается [1].

В Данной работе произведено исследование выхода свалочного газа участка полигона ТКО, выведенного из эксплуатации в 2017 году, для определения возможности его энергетического использования.

Для исследования на участке были оборудованы 52 скважины глубиной 20 м в которые были опущены полиэтиленовые перфорированные трубы диаметром 50 мм, произведенные на ООО «ТК Экотранс» из полимерных отходов.

Периодический мониторинг состава биогаза производился с использованием переносного газоанализатора и ФАРМЭК ФП34 (производство Беларусь) с датчиками  $\text{CH}_4$  (0–100%),  $\text{CO}_2$  (0–2.5%),  $\text{O}_2$  (0–30%),  $\text{H}_2\text{S}$  (0–100 мг/м<sup>3</sup>). Замеры состава биогаза совершались у основания каждой скважины, при этом на результаты замеров значительное влияние оказывали погодные условия — при усилении ветра выход газа из скважин значительно увеличивался.

При анализе состава биогаза содержание кислорода в нем составляло от 9 до 18 объёмных %. Так как биогаз образуется в анаэробных условиях, кислород в его составе попадает с присосами воздуха в не плотностях газосборной системы и через тело полигона. Содержание метана в биогазе подвергается значительному колебаниям и составляет 9,5–35%. При этом колебания не являются сезонными и содержание метана в биогазе может заметно изменяться в течении нескольких часов.

### Средний состав биогаза (свалочного газа)

Содержание, об.%, среднее (минимальное, максимальное)		
Метан $\text{CH}_4$	Кислород $\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{S} \times 1000$
25 (9,5...34,6)	13,5 (9...18)	1,1 (0...6,6)

Содержание метана в биогазе непостоянно и может изменяться в течении нескольких часов. Это создает затруднения в использовании традиционного энергетического оборудования — газовых горелок и газопоршневых электростанций, так как они рассчитаны на постоянную теплоту сгорания топлива.

### Литература

1. А. А. Малышева. Нетрадиционный возобновляемый источник энергии — биогаз полигонов ТБО // Научно-технический вестник Поволжья № 5 2014.

*Е. О. Кошевой, студ.;*  
*рук. А. Я. Шелгинский, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ**

Все реакции, лежащие в основе производства фосфорной кислоты, протекают с выделением теплоты. Для более эффективного производства все излишки теплоты возможно эффективно использовать, а не выбрасывать в атмосферу, как в действующих производствах. В работе рассматривается конкретный метод модернизации производства фосфорной кислоты.

После проведения анализа системы производства, было выявлено, что в технологических процессах выделяется большое количество теплоты от сокового пара, которое составляет 52 735 500 кВт ч/год.

Предлагается часть этой теплоты использовать в системах отопления, вентиляции и ГВС производственного цеха. Оставшуюся теплоту в количестве 43 165 500 (кВт·ч)/год предлагается использовать для выработки холода и электроэнергии на основе абсорбционной холодильной машины (АБХМ) и детандер-генераторного агрегата (ДГА). В работе рассматривается перспективность использования АБХМ BROAD VH500 холодопроизводительностью 5315 кВт. Использование охлаждения конденсатора ДГА промежуточным теплоносителем, циркулирующим через испаритель АБХМ, позволяет вырабатывать в ДГА 2160 кВт электроэнергии для обеспечения потребности производственного цеха. Проведенный технико-экономический анализ показывает, что срок окупаемости инвестиций составляет менее года.

Коэффициент полезного использования энергоносителей (КПИ) в цехе производства фосфорной кислоты возрастает с 3,7% до 32,9%.

### **Литература**

1. **Назмеев Ю. Г.** Организация энерготехнологических комплексов в нефтехимической промышленности. — М.: Издательство МЭИ, 2001.
2. **И. П. Наркевич** «Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ». — М.: Химия, 1984 г.

*Я. О. Хлапонина, студ.; рук. Е. Г. Гашо, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС С ПОМОЩЬЮ ТРИГЕНЕРАЦИИ**

Вопросу повышения эффективности уделяется особое внимание. Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии позволяет использовать 85–90% теплоты топлива, общий расход топлива при этом ниже на 20–25%, чем у лучших схем раздельного производства энергии. [1]

В южных регионах страны существует проблема летних дневных пиков нагрузки. Рассмотрим варианты решения проблемы на примере Джубгинской ТЭС. На ней установлены две ГТУ общей электрической мощностью 180 МВт, их КПД достигает 43%. Проектная выработка станции 973 млн. кВт·ч/год, реальная на 2018 год 457 млн. кВт·ч/год. Тепловая энергия отработавших газов за ГТУ составляет 688 ГДж/час. Сегодня ТЭС генерирует только электроэнергию.

Изложены два варианта модернизации ТЭС: надстройка ГТУ до ПГУ или создание тригенерационной части. В первом случае устанавливается котел-утилизатор (КУ) и паровая турбина. Было определено (по методике, приведенной в [2, стр. 173–177]), что КУ способен генерировать пар высоких параметров в количестве 247 т/ч. Этого хватит для работы турбин мощностью до 15 МВт (8% от мощности ТЭС), вариант не рентабелен. [3]

Во втором случае создается тригенерационная часть, состоящая из двух паровых КУ (114 тонн пара в час), паро-водяного ПСВ (125 м<sup>2</sup>) и шести АБХМ (24 МВт). После проведенной модернизации ТЭЦ может вырабатывать 3 вида энергии, покрыть тепловую и холодовую нагрузку ближайших потребителей. В зимнее время потребители используют дополнительно 18,7 МВт тепла, а в летний период 10 МВт тепловой энергии и 24 МВт энергии на холодоснабжение.

Экономия составит: топлива 56,57 тыс. т/год; финансовых средств 778,37 млн руб. КИТ на ТЭЦ в режиме когенерации увеличен до 51%, при применении тригенерации достигает 63%. Суммарная стоимость реализации проекта составляет 4,325 млрд руб. С учётом сэкономленных средств проект имеет ориентировочный срок окупаемости от 5 до 6 лет с момента ввода в эксплуатацию всего технического оборудования.

### **Литература**

1. **Ольховский Г. Г.** Совершенствование технологий комбинированной выработки электроэнергии и тепла на ТЭЦ России // *Новости теплоснабжения*. 2013. № 10.
2. **Сазанов Б. В.** Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. **Фаворский О. Н.** ГТУ — основа будущей энергетики России // *Двигатель* — 2016. — № 6

*О. А. Чехранова, асп.; рук. Е. Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА)**

Для полноценного развития страны необходимо обеспечивать урбанизацию городов, которая характеризуется расширением и улучшением социальной сферы, строительных, наукоемких и промышленных отраслей, а также стратегически важным является развитие энергетики как регионов, так страны в целом [1]. Красноярск — один самых грязных городов России. В городе Красноярск функционирует множество промышленных предприятий, которые в свою очередь на своем производстве теряют до 60% тепловой энергии, наиболее крупным является Красноярский алюминиевый завод [2]. Несмотря на то, что теплоснабжение города осуществляется преимущественно от ТЭЦ, в городе присутствует большое количество угольных котельных. Количества сбросного тепла от ТЭЦ достигает до 5 млн Гкал. Так же, в городе протекает река-Енисей, которая не замерзает весь год, по мнению автора Енисей может выступать как источник низкопотенциального тепла. Теоретическое возможное количество тепла, при снятии на 1 градус, достигает до 200 млн Гкал. В работе было проанализировано состояние теплоэнергетических систем города. Был проведен расчет возможности использования вторичных энергетических ресурсов и низкопотенциального тепла. Так же автор оценил экологический эффект после предложенных технологий. Таким образом, в работе представлен комплексный подход повышения энергетической и экологической эффективности системы теплоснабжения Красноярска.

### **Литература**

1. **Гашо Е. Г.** Разработка методологии совершенствования промышленных и коммунальных теплоэнергетических систем [Рукопись]: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.04 / Евгений Геннадьевич Гашо. — М., 2018. — 39 с. — Библиогр.: с. 36–392. с.
2. **Схема теплоснабжения города Красноярск** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docplayer.ru/84142-Shema-teplosnabzheniya-goroda-krasnoyarska-do-2033-goda.html> (Дата обращения 25.10.2019)

С. С. Маринина, студент;  
рук. Ю. В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

## СОЛНЕЧНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬДОАККУМУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В данной работе проведено расчетное исследование системы отопления (СО) и горячего водоснабжения (ГВС) с помощью теплового насоса (ТН), использующего в качестве источника теплоты солнечные коллекторы (СК) и льдоаккумулятор (ЛА). Расчет проводился для каждого часа в году с использованием реальных данных о погодных условиях в городе Москве за усредненный 2018–2019 г. Объектом исследования выбран индивидуальный жилой дом с высокими энергосберегающими характеристиками, суммарное годовое потребление теплоты которого составляет: 12593 кВт·ч. В результате расчета подобрано количество СК: 3 шт. Рассчитан объем ЛА: 20 м<sup>3</sup>. Получено распределение энергии, снятой с СК: 53% поступает на непосредственный нагрев воды в баке-ГВС и баке-СО, 8% — в ТН, 39% — в ЛА. При этом повышается общая эффективность СК за счет низкотемпературного хранения воды в резервуаре, которое позволяет часть солнечной энергии использовать для регенерации ЛА даже при невысокой температуре в СК. Рассчитан годовой тепловой баланс льдоаккумуляторной установки (рис. 1): потребность в энергии в холодный период сопоставима с солнечным приходом в летний период. В ЛА можно накопить 3433 кВт·ч тепловой энергии с учетом теплоты фазового перехода, при этом в зимний период на нужды СО и ГВС извлекается 2528 кВт·ч.

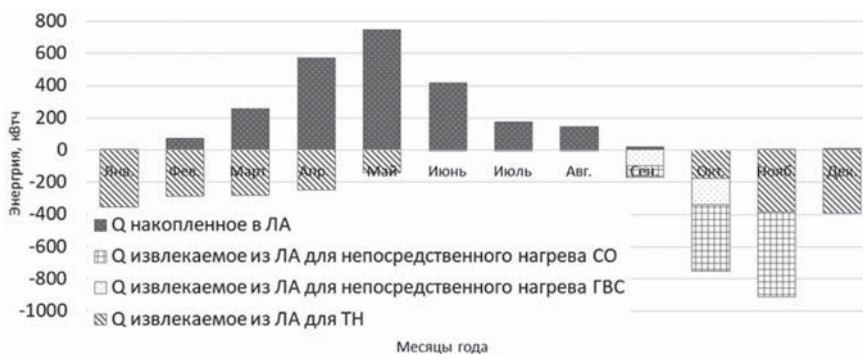


Рис. 1. Годовой тепловой баланс льдоаккумулятора



*А. Р. Варич, студ.; рук. Ю. В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

В последние годы стала актуальной проблема увеличения фактической стоимости строительства тепловых электрических станций по сравнению с планируемой, достижение планируемых технико-экономических и экологических показателей этих объектов при эксплуатации. Работа посвящена определению реальных технико-экономических показателей различных тепловых электростанций. Определяющими из этих показателей являются фактические капитальные затраты и эксплуатационные расходы тепловой электрической станции.

Соотношение различных составляющих в структуре общих затрат на строительство тепловой электрической станции, а также оценка влияния мощности станции на ее стоимость представляют интерес. Опираясь на фактические проектные данные, приведенные в таблице 1, были определены составляющие затрат в общей стоимости тепловой электрической станции. Строительные объекты и строительные работы в среднем занимают 20–30%, монтажные работы порядка 18%, стоимость оборудования составляет около 45% от всех капитальных затрат. Оставшиеся 10–15% — прочие затраты.

**Таблица 1.** Сравнение составляющих капитальных затрат электростанций различных типов и мощности

	<b>ГТУ 300 МВт</b>	<b>ПГУ 360 МВт</b>	<b>ПГУ 160 МВт</b>
Строительство и строительные работы, тыс. руб.	11593144	16781093	7341091
Монтажные работы, тыс. руб.	6774147	10479805	6777972
Оборудование, тыс. руб.	16028052	25565849	16574228
Прочие затраты, тыс. руб.	3046306	6567737	5252300
Полная стоимость, тыс. руб.	37441649	59394484	35945591

Полная удельная стоимость ПГУ меньшей электрической мощности значительно отличается от аналогичного показателя более мощной ПГУ. Для ПГУ-160 по станции в целом этот показатель в 1,4 раза больше, чем для ПГУ-360. Вырабатывая приблизительно равную электрическую мощность, ГТУ-300 и ПГУ-360 имеют ощутимую разницу в капитальных затратах. Строительство ПГУ потребует в 1,5 раза больше затрат.

*Д. А. Макуева, Я. О. Шайхутдинов, студ.;  
рук. А. Е. Кондратьев, к. т. н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛА**

В настоящее время существуют проблемы загрязнения атмосферы выбросами  $\text{CO}_2$  при выработке электроэнергии и тепла, также наблюдается сокращение запасов традиционного ископаемого топлива. В связи с этим возникает потребность в использовании возобновляемой экологически чистой энергии. В качестве источника такой энергии может выступать биотопливо: биомасса, биоэтанол, отходы производства и прочее.

В настоящее время мировые производители занимаются созданием и улучшением котлов, работающих на биотопливе. Такие котлы уже существуют в Европе и имеют мощность от нескольких единиц до нескольких десятков, а в будущем даже сотен МВт (строящаяся станция «Bee Power Gent» в Бельгии).

В качестве дополнительного источника энергии может использоваться и биогаз, который можно использовать в водонагревательных установках и двигателях внутреннего сгорания [1]. У установок на биогазе имеются достаточно весомые преимущества: утилизация отходов не вредит экологии, на выходе обеспечивается удобрение высокого качества, из отходов получают биогаз, который можно использовать, например, для отопления помещений [2].

Однако у биотоплива есть существенные недостатки. Его калорийность меньше калорийности угля того же объема, а хранение биотоплива на открытом воздухе может приводить к его высыханию и возможному воспламенению.

В связи с этим биотопливо пока не может использоваться в качестве основного топлива на объектах теплоэнергетики большой мощности, однако путем совмещения биотоплива с другими видами возобновляемой энергии можно добиться большей эффективности работы тепловых электростанций и достичь мощности в несколько сотен МВт.

### **Литература**

1. **Ахметгалиев И. Ф.** Вопросы утилизации органических отходов крупного рогатого скота с получением биогаза / И. Ф. Ахметгалиев, А. Е. Кондратьев // Международная молодежная научная конференция «Научному прогрессу — творчество молодых». ПГТУ. 2019. Ч. 2. С. 78–80.
2. **Мустафина Г. Р.** Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Всероссийская конференция молодых ученых и студентов «Экологическая безопасность в техносферном пространстве». РГППУ. 2020. С. 88–90

**Секция 37**  
**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ**  
**И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**  
**Electrochemical and hydrogen energy**

---

*Председатель секции: к. т. н. Славнов Юрий Алексеевич*

*Секретарь секции: Курочкин Семен Васильевич*

*В. Р. Васильев, С. А. Кострюков, студ.;  
рук. Ю. В. Гусева, доц., к.ф.-м.н. (ВФ МЭИ)*

## **ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА**

Водородная энергетика является одним из перспективных направлений способных решить проблему создания более экологических энергосистем, позволяющих снизить уровень загрязнения окружающей среды. Разработано множество физико-химических процессов по выделению водорода из смеси различных продуктов реакции. Ресурсы водорода, которые содержатся в воде и органическом веществе, практически неисчерпаемы [1].

Авторами предложена модель генератора водорода, принцип работы которого основан на процессе получения водорода путем гидролиза алюминия в водном растворе едкого натра.

Алюминий используется в виде пудры, которую удобнее вводить в генератор в виде суспензии, что обеспечит равномерное дозирование алюминия и его пассивацию для исключения преждевременной реакции компонентов смеси. В качестве твердых частиц дисперсной фазы выбрана алюминиевая пудра ПАП-1, диаметр гранул 30 мкм, в качестве дисперсной среды — растительное масло. Количественное соотношение дисперсной фазы и среды определяется расчетом с учетом изменения условий опыта (температуры и давления) и время пребывания в реакторе до полного выделения водорода. Выбор алюминиевой пудры ПАП-1 обоснован ее производством в промышленных масштабах на Волгоградском алюминиевом заводе [2].

Разработанная конструкция генератора проточного типа позволяет осуществлять проведение модельных реакций получения водорода в лабораторных условиях с применением алюминиевой пудры ПАП-1.

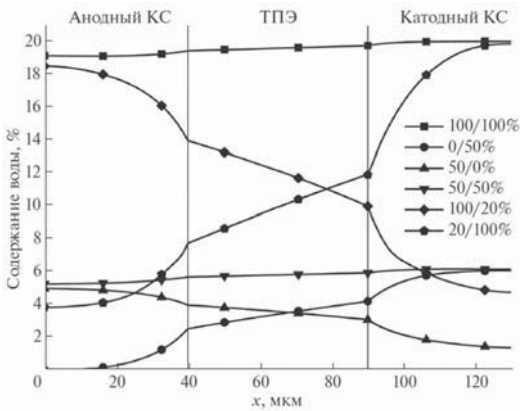
### **Литература**

1. **Сажин Б. С.** Экспериментальное исследование зависимости скорости выделения водорода от концентрации щелочи при взаимодействии алюминия с водным раствором щелочи / Б. С. Сажин, В. В. Козляков, А. Х. Хайри, В. С. Терещук, А. С. Панфилов, Б. В. Сажин // *Успехи в химии и химической технологии*. 2011. Том XXV. — С. 108–115.
2. **Попова М. В., Гусева Ю. В.** Моделирование физико-химических процессов в генераторе водорода // *Энергетика и цифровизация — факторы стабильного развития современного города: Международная научно-практическая конференция, г. Волжский, 23–26 октября 2019 г. / Тезисы докладов*. Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020. С. 21–22.

*Р. М. Меншарпов, Н. А. Иванова, А. А. Засыпкина  
(НИЦ «КИ», Москва), Д. Д. Спасов (НИУ «МЭИ», Москва)*

## МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАН С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ВОДНОГО БАЛАНСА ТЭ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ВЛАЖНОСТИ

Проблема водного менеджмента в топливном элементе с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) в условиях пониженной влажности стоит наиболее остро. Добавление в мембрану адсорбентов улучшает влагоудерживающие свойства ТПЭ.



**Рис. 1.** Массовая доля связанной воды в объеме иономера при различных значениях относительной влажности входящих потоков газа на аноде и катоде

Распределение воды в объеме МЭБ было получено с использованием компьютерного моделирования. В качестве математической модели выступала стационарная изобарная изотермическая двухфазная одномерная модель для низкотемпературного ТЭ с ТПЭ. Согласно модели МЭБ состоит из нескольких слоев: на краях расположены анодный и катодный каталитические слои (КС), в середине находятся области, соответствующие по свойствам мембране марки Nafion® (стандартной) и модифицированной мембране с нанесенным приповерхностным модифицированным слоем. Данная модель учитывает процессы диффузии газовой фазы, а также транспорта связанной воды в объеме иономера. Используемые уравнения переноса и материальные параметры взяты из [1].

Получено пространственное распределение концентрации воды в каталитическом слое и ТПЭ для стандартной мембраны и мембраны, содержащей приповерхностный модифицированный слой. Наилучшее распределение воды в мембране достигается при добавлении слоя с трехкратно увеличенной влагоемкостью со стороны, примыкающей к катодному каталитическому слою.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-29-23030 и в рамках выполнения научно-исследовательских работ в НИЦ “Курчатовский институт” (приказ № 1909 от 25.09.2020, подтема 6).

### Литература

1. **Vetter R., Schumacher J. O.** // Comput. Phys. Commun. 2019. V. 234. P. 223.

*С. В. Курочкин, асп.; Е. Е. Слепцова, студ.;  
рук. В. Н. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЙ НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВЫЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ**

На сегодняшний день водород активно применяется не только во многих отраслях отечественной промышленности, но и в качестве вторичного энергоносителя, активно идут попытки декарбонизации процесса производства водорода. Решением может служить получение экологически чистого водорода с помощью щелочного электролиза воды, используя энергию ВИЭ. Основным недостатком щелочных электролизёров воды является высокое энергопотребление. Синтез современных электрокатализаторов способен снизить перенапряжение выделения кислорода и водорода. Часто в качестве основы для электродов используется просечено-вытяжная никелевая сетка, увеличение её активной электрохимической поверхности возможно за счёт электроосаждения на неё частиц карбонильного никелевого порошка марки ПНК — ОТ2. Данный порошок имеет частицы размером от 5 до 10 мкм. Для получения покрытия, состоящего из субмикронных частиц, необходимо провести термическое разложение смешанного формиата никеля-кобальта. Данный порошок обладает высокоразвитой поверхностью, поэтому пирофорен. Термическое разложение синтезированного смешанного формиата-никеля проводилось в химическом реакторе в среде 1,4-бутандиола при постоянной прудувке зоны реакции инертным газом. Следующим этапом было отделение полученного порошка от жидкой фазы с помощью магнитной сепарации. Получившийся порошок наносили на никелевую сетку методом электроосаждения в стандартной ванне Уоттса. Полученный катализатор продемонстрировал возможность снижения удельных затрат электрической энергии на процесс получения водорода. Работа выполнена в рамках проекта «Высокоэффективный электролизер с системой хранения генерируемых газов для энергоустановок на базе возобновляемых источников с водородным циклом накопления энергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика» II очередь ПНИ «Энергетика», II очередь. Секция 5. «Водородная энергетика». Проект «Высокоэффективный электролизер с системой хранения генерируемых газов для энергоустановок на базе возобновляемых источников с водородным циклом накопления энергии».

### **Литература**

1. **Kuleshov V. N., Kuleshov N. V., Kurochkin S. V.** High efficiency electrodes for alkaline electrolysis of water // Russian Journal of Applied Chemistry 2020, Vol. 93, No. 8, pp. 1146–1151. DOI: 10.1134/S1070427220080066

*Н. О. Ионов, студ.; рук. С. Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АККУМУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО КАТОДА**

В последнее время химические источники тока развиваются очень быстрыми темпами. Это обусловлено прежде всего потребностями техники, совершенствованием традиционных ХИТ. Все большее внимание уделяется разработкам источников энергии с высокими энергетическими параметрами, способными конкурировать с традиционными источниками тока. Наиболее перспективными и часто используемыми аккумуляторами считаются литиевые системы источника тока (Li-Ion и Li-Pol), которые доминируют из-за их легкого веса, высокой плотности электрической энергии (100 Вт·ч/кг) и низкого саморазряда.

Катодные материалы на основе фосфата лития-железа  $\text{LiFePO}_4$  со структурой оливина привлекают внимание исследователей благодаря высокой емкости, которая может достигать 170 мА·ч/г и сравнительно небольшой себестоимости. Данное соединение рассматривают в качестве перспективного катодного материала для ЛИА ввиду того, что его анионная подрешетка отличается структурной стабильностью даже в заряженном состоянии. Кроме того, в отличие от традиционно используемого кобальтата лития, фосфат лития-железа ( $\text{LiFePO}_4$ ) обладает не столь высоким напряжением заряда/разряда (3,5 В), что определяет существенно более низкую степень окисления компонентов электролита в ЛИА. В ходе исследования был разработан и создан литий-полимерный источник тока на основе композиционного материала  $\text{LiFePO}_4/\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ .

Электрохимические измерения проводили на многоканальном потенциостате — гальваностате Elins P-20X8 в автоматическом режиме по заранее записанной в его память программе. Испытания электродов проводили в гальваностатическом режиме при плотностях тока 0,01–0,15 мА/см<sup>2</sup> в широком диапазоне потенциалов. Исследование электродов проводили в трехэлектродной ячейке из полипропилена. Подготовку электролитов, электродов и сборку экспериментальных макетов аккумуляторов проводили в боксе БПП-ОС в атмосфере осушенного аргона. Как показал анализ полученных экспериментальных результатов в результате термообработки выбранных прекурсоров образуются смешанные литий-металл фосфаты.

В результате проведенных исследований была разработана аккумуляторная батарея на основе системы  $\text{LiFePO}_4/\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$  в габаритах 43×30×2,5 мм при весе 4,85 г и емкостью 300 мА·ч.

*А. Б. Белаш, студ.; рук. С. Е. Смирнов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ДЕФЕКТΟΣКОПА**

Современная техника становится все более компактной, что в свою очередь стимулирует разработку мелких, гибких и более емких источников питания. Наиболее перспективными считаются литиевые системы источника тока (Li-Ion и Li-Pol), которые обладают высокими удельными энергетическими характеристиками, в связи с чем, они вызывают большой интерес. Замена жидкого органического электролита в литий-ионных аккумуляторах на полимерный, исключает утечки электролита и повышает безопасность работы. Замена жидкого органического электролита в литий-ионных аккумуляторах на полимерный, исключает утечки электролита и повышает безопасность работы. В настоящее время в мире в связи с внедрением новых технологий для контроля качества на предприятиях-производителях и поиска дефектов в стальных изделиях – магнитные дефектоскопы. В ходе исследования был разработан и создан литий-полимерный источник тока на основе системы  $\text{Li-Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  для магнитного дефектоскопа. В НИУ «МЭИ» показано, что механохимическая обработка может быть успешно использована для синтеза высокодисперсных катодных материалов литиевых источников тока. В настоящей работе для механоактивации использованы планетарные мельницы. Было установлено, что пластическое деформирование прекурсора эффективно действует на второй стадии синтеза фосфата лития ванадия, обеспечивая существенное снижение продолжительности процесса. Для электрохимического тестирования были выбраны электроды, активная масса которых была получена на основе смеси  $\text{VPO}_4 + \text{LiOH}$ , подвергнутой механоактивации с последующей термообработкой при  $750^\circ\text{C}$ . Как показали проведенные исследования катоды обратимо циклируются при плотностях тока  $0.2\text{--}1.0 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$  В данной работе был разработан аккумуляторная батарея для магнитного дефектоскопа на основе системы литий литий-ванадий фосфат в габаритах  $20\times 20\times 13 \text{ см}$  при весе  $675 \text{ г}$  и емкостью  $5270 \text{ mA}\cdot\text{ч}$ .



*А. А. Зацепин, М. А. Бешкарев, студенты;  
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЕВЫХ ХИТ**

Среди существующих химических источников тока (ХИТ) наибольшими энергетическими параметрами и потенциалом для дальнейшего совершенствования обладают литиевые источники тока (ЛИТ). Решение проблемы электролита и создание высокоэнергоемких положительных электродов, способных к циклированию с высокими плотностями тока, позволило бы существенно повысить энергетические параметры ЛИТ и расширить область их применения. Одним из наиболее эффективных путей совершенствования ЛИТ можно считать использование в их электродах наноразмерных материалов. Известно, что скорость и глубина внедрения лития в твердую фазу в основном определяются особенностью ее кристаллической структуры и размером. Таким образом, переход от массивных кристаллов к наноразмерным, сопровождаемый эффектом поверхностной релаксации должен приводить как к увеличению интеркаляционной емкости материала по литию за счет существенного повышения дефектности матрицы, так и к ускорению диффузии катиона лития в кристаллической структуре твердого активного вещества вследствие изменения ее механизма.

Образцы положительных электродов готовили по оригинальной методике. В качестве активного вещества использовали кобальтат лития ( $\text{LiCoO}_2$ ) фирмы "LICO". Применяли оригинальный коммерческий материал и материал подвергнутый дополнительному измельчению в бисерной мельнице. Измельчение проводили в среде толуола от 1500 до 50 нм в Наноцентре МЭИ. Исследование распределения частиц по размерам в дисперсии проводилось методом динамического светорассеяния. В качестве электропроводящих добавок использовали углеродные добавки KS-6 и Super P. В качестве связующего применяли поливинилиденфторид PVDF. Процентное массовое соотношение компонентов находилось на уровне 90%  $\text{LiCoO}_2$ , 7% PVDF, 2% KS-6, 1% Super P.

Была установлена взаимосвязь между дисперсностью активного материала, толщиной и энергетическими характеристиками положительного электрода аккумулятора. Показано, что тонкопленочные электроды на основе нанодисперсного  $\text{LiCoO}_2$  обладают преимуществом над аналогами с более крупным размером фазы активного вещества, при этом с увеличением толщины удельные энергетические параметры электрода несколько уменьшаются, а темп их снижения можно уменьшить при введении в технологию изготовления электрода стадии пластического деформирования активной массы.

*Н. А. Сергейцев, Е. П. Елисеева, студенты;  
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ТОКА ДЛЯ КАРДИОСТИМУЛЯТОРА**

Серьезные заболевания или врожденных дефекты, могут вызвать патологию в работе сердца, провоцирующую необходимостью его стимуляции. Способ решения данной проблемы — подключение к сердечной мышце внешнего источника генерации электроимпульсов нужной частоты, т. е. кардиостимулятора. Кардиостимулятор — это энергозависимое устройством, электропитание которого осуществляется от химического источника тока, к которому предъявляются повышенные требования. Расширение функционала кардиостимуляторов и увеличение продолжительности их работы требуют развития источников тока используемых для их энергоснабжения.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию высокоэффективного литий-фторуглеродного первичного источника тока для кардиостимулятора. С целью повышения мощности фторуглеродного катода и первичного элемента в структуру электрода предлагается внести некоторую долю высокомогущей добавки оксида ванадия серебра ( $\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$ ), синтезированного в НИУ МЭИ по оригинальной методике, включающей пластическое деформирование прекурсоров.

В экспериментальной части работы проведена оптимизация соотношения активных компонентов катодной массы композиционного фторуглеродного электрода. Установлено, что максимальные энергетические характеристики электрода достигаются при определенном соотношении  $(\text{CF}_x)_n/\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$  зависящем от конкретного режима разряда. Установлен оптимальный состав и способ изготовления электродов. Разработан способ изготовления высокомогущих композиционных электродов с добавкой  $\text{Ag}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$  в твердофазном исполнении для обеспечения высокомогущих, в том числе импульсных, режимов разряда.

С использованием данных полученных в процессе эксперимента проведен расчет литий — фторуглеродного элемента ВР 3256 для кардиостимулятора. Показано, что использование разработанных электродов в литий — фторуглеродных элементах ВР 3256 существенно повысит энергетические параметры и позволит расширить функциональные возможности кардиостимулятора.

*А. К. Щербинина, Е. П. Елисеева, студенты;  
рук. И. А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

В сегодняшнем мире наблюдается неблагоприятная экологическая ситуация в крупных городах. Загрязнённый воздух — это причина роста онкологических и других видов тяжелых, в том числе хронических болезней. Наиболее опасный загрязнитель окружающего воздуха — наземный транспорт. Выброс вредных веществ средств передвижения с ДВС происходит в непосредственной близости от человека. Кроме того, переизбыток транспорта приводит к затруднению городского трафика. Современный выход из упомянутых проблем — это частичная замена традиционных транспортных средств на малогабаритный электротранспорт: самокаты, велосипеды, моноколеса, сигвеи, гироскутеры и т. д. Главные проблемы малогабаритного электротранспорта — малый запас хода и высокая масса. Эти проблемы связаны с несовершенством используемых в составе аккумуляторных батарей.

Данное исследование посвящено разработке высокоэнергоемкого литий-полимерного аккумулятора для использования в аккумуляторных батареях малогабаритного электротранспорта. Положительный электрод предложенного источника тока представляет собой сложную композиционную систему. В качестве активного вещества использовали  $\text{LiCoO}_2$ , связующий компонент — полимерный электролит на основе сополимера фторсодержащего полисульфона и полисульфидсульфона. Применяли различные типы электропроводящих добавок, в том числе углеродные нанотрубки. Состав положительного электрода варьировали, а в технологию изготовления включали стадию пластического деформирования активной массы. Показано, что компактирование и гомогенизация активной массы в процессе пластического деформирования, при оптимизации состава положительного электрода, увеличивают его энергетические параметры более чем на 30% по сравнению с традиционными аналогами.

На базе предложенного положительного электрода, разработан призматический литий-полимерный аккумулятор с повышенными энергетическими параметрами. Расчетным методом показано, что замена в штатной батарее электро-самоката цилиндрических литий-ионных аккумуляторов на предложенные призматические литий-полимерные за счет более эффективного использования пространства батареи и преимуществ в энергетических характеристиках позволит увеличить пробег электросамоката до 87,5%.

*С. В. Курочкин, асп.; И. Ю. Родькин, студ.; К. И. Мхитарян, студ.;  
рук. Н. В. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПОНОВКА СОВРЕМЕННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ БАТАРЕЙ**

Большая часть электролизного водорода, использующегося в отечественной промышленности производится за счёт щелочных электролизёров воды. Щелочная технология генерирования водорода уже долгое время широко известна и освоена в производстве. Из-за постоянного стремления к сокращению энергопотребления бездиафрагменные щелочные электролизёры воды с монополярным включением электродов уступили место электролизёрам фильтрпрессной конструкции с биполярным включением электродов. Долгое время отечественная промышленность выпускала щелочные электролизёры воды с межэлектродным зазором. Дальнейшее развитие данного типа электролизных установок привело к появлению «нулевого зазора», то есть электроды плотно прижаты к диафрагме с двух сторон. Современные системы контроля и автоматики позволяют точно выставить скорость циркуляции анодного и катодного контуров установки при разной токовой нагрузке, система термостатирования на основе паяных пластинчатых теплообменников обеспечивает более точную подстройку температуры электролита. Для создания современной электролизной батареи в ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» на кафедре Химии и Электрохимической Энергетики была предложена схема, объединяющая электроды и диафрагму в единый электродно-диафрагменный блок (ЭДБ). Современные электрокатализаторы анодного выделения кислорода и катодного выделения водорода позволяют значительно снизить удельные энергозатраты на процесс электролиза воды [1]. Компоновка электролизной батареи, используя ЭДБ на основе современной электрохимической элементной базы, позволяет существенно упростить её сборку. Дополнительно было принято решение отказаться от щелочестойких уплотнительных материалов. Поэтому электролизные ячейки соединяются между собой с помощью особого клеевого состава, исключая протечки электролита в процессе работы установки. Полученные данные позволили продолжить процесс усовершенствования отечественных щелочных электролизёров воды.

### **Литература**

1. **Kuleshov V. N., Kuleshov N. V., Kurochkin S. V.** High efficiency electrodes for alkaline electrolysis of water // Russian Journal of Applied Chemistry 2020, Vol. 93, No. 8, pp. 1146–1151. DOI: 10.1134/S1070427220080066

*Е. В. Мягкий, И. С. Лежнин, студенты;*  
рук. Ю. А. Славнов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЕТ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Гибридная электростанция (ГибЭС) включает высокотемпературные топливные элементы (ТЭ) на основе твердых оксидных электролитов, работающих при температурах 1100–1250 К, и газотурбинную установку (ГТУ), в которой дополнительно генерируется электроэнергия за счет тепла, вырабатываемого ТЭ. ГибЭС является энергоэффективным, экологически чистым источником электроэнергии.

Топливом служат продукты конверсии метана  $H_2$  и  $CO$ . В конверторе протекает эндотермическая реакция пароуглекислотной конверсии метана. Для ее проведения используется часть тепла ТЭ и продукты электрохимической реакции  $H_2O$  и  $CO_2$ , часть которых направляется в конвертор, где смешиваются с входящим метаном.

Экономически целесообразно не создавать ГТУ для ГибЭС, а использовать серийно выпускаемые ГТУ и для обеспечения заданных технических условий ее работы подбирать мощность и параметры ТЭ. Его мощность набирается путем простого суммирования блоков ТЭ.

Для расчетов выбрана ГТУ с турбиной Capstone 200С. Мощность  $P_{ГТУ} = 210$  кВт. Расчеты проведены на основе материального и энергетического балансов системы, включающей конвертор метана, ТЭ, дожигатель топлива, не вступивших в электрохимическую реакцию  $H_2$  и  $CO$ . Для дожигания используется отработанный в ТЭ воздух.

Смесь газов, направляется в ГТУ из дожигателя. Она состоит из  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ . Температура начальная турбины  $T = 1205$  К, давление 4 атм. В регенеративном теплообменнике ГТУ теплом смеси газов выходящим после турбины подогревается атмосферный воздух, поступающий в ТЭ. Расход этого воздуха задан техническими условиями работы ГТУ. Воздух нагнетается компрессором, расположенным на валу турбины.

При среднем напряжении единичного ТЭ  $\bar{U} = 0,7$  В для обеспечения указанных требований к работе ТЭ и ГТУ расход метана, подаваемого в конвертор, должен составлять  $G_m = 1,3$  моль/с.

Мощности ГибЭС и ТЭ –  $P_T = 710$  и  $P_{ТЭ} = 500$  кВт. КПД ГибЭС 67%.

Энергоэффективность выработки электроэнергии в ГибЭС выше, чем у традиционных тепловых электростанций малой и средней мощности, но по удельным капитальным затратам на 1 кВт установленной мощности ГибЭС с ними конкурировать пока не может.

*С. И. Бутрим, студ.; М. В. Козлова, студ.; М. А. Соловьев, асп.;  
рук-ли А. С. Пушкарев, к.т.н.; И. В. Пушкарева, к.т.н.;  
С. А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ВОДЫ С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ**

В последние годы можно отметить возросший интерес к электролизерам воды с протонообменной мембраной (ПОМ), поскольку они позволяют получать высококачественные газы и отличаются высокой производительностью, эффективностью и маневренностью. Недостаточно высокий срок службы электролизеров воды с ПОМ обусловлен агрессивными условиями работы анода, что вынуждает использовать газодиффузионные электроды (ГДЭ) с защитными покрытиями из стойких в такой среде дорогостоящих материалов: Pt, Au и Ir [1]. Привлекательным альтернативным направлением является предварительная химическая обработка поверхности ГДЭ, в частности, контролируемое выщелачивание Ti в HCl, которая приводит к образованию поверхностного слоя TiH, повышающего электрохимическую стойкость ГДЭ [2].

В представленной работе проведен синтез защитных покрытий на основе TiH, приведены результаты электрохимических, структурных и морфологических исследований ГДЭ с такими защитными покрытиями. Показано, что предложенная методика травления поверхности ГДЭ является перспективным методом защиты электродов от коррозии и пассивирования.

*Синтез защитных покрытий, их структурные и электрохимические исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-58-26022. Исследование морфологии покрытий выполнено при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020–2022 гг.».*

### **Литература**

1. **Shirvanian P.** // Electrochem. Commun. 2020, 114, 106704.
2. **Bystron T.** // J. Appl. Electrochem. 2018, 48, 713.

В. Ю. Бодиков, студ.; рук. Д. О. Дуников, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ С ФАЗАМИ ЛАВЕСА

На протяжении последних десятилетий ведутся активные исследования многокомпонентных металлгидридных материалов для практического применения в стационарном и портативном хранении водорода, термосорбционных компрессорах, хранении тепловой энергии и никель-металлогидридных аккумуляторах.

Интерметаллические соединения (ИМС) для анодных материалов можно представить общей формулой  $A_mB_nH_x$ , где А — металл, образующий стабильный бинарный гидрид (La, Ce, Mm, Ti, Zr, V, Mg), а металл В в обычных условиях с водородом не взаимодействует (Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Al и другие). ИМС АВ<sub>2</sub>-типа для Ni-MH аккумуляторов состоят из двух основных фаз, именуемые фазы Лавеса: гексагональная С14 (MgZn<sub>2</sub>) и гранецентрированная кубическая С15 (MgCu<sub>2</sub>)

Бинарные С14 (например, ZrMn<sub>2</sub>, TiMn<sub>2</sub>) и С15 (ZrV<sub>2</sub>) фазы являются хорошими водородпоглощающими материалами, однако из-за высокой стабильности гидридов обладают плохими электрохимическими характеристиками в щелочных электролитах. Поэтому основной интерес вызывают многоэлементные АВ<sub>2</sub> сплавы, в основном содержащие Ti, Zr, V, Ni, Co, Cr, Mn, Al, Fe и другие замещающие металлы.

Основными преимуществами сплавов АВ<sub>2</sub>-типа являются более высокие разрядные емкости, большая вариативность составов, стехиометрии и сосуществоющих фаз, что позволяет получить материалы с необходимыми электрохимическими характеристиками.

Одним из способов повышения характеристик сплава после изготовления в печи — отжиг. Отжиг в значительной степени увеличивает содержание основной фазы, тем самым повышая разрядную емкость АВ<sub>2</sub> сплавов, уменьшает дефекты кристаллической решетки и приводит к релаксации внутренних напряжений, уменьшает гистерезис и равновесное давление сорбции/десорбции водорода. Цель исследований заключалась в определении влияния отжига на водородсорбционные и электрохимические характеристики сплавов типа АВ<sub>2</sub>.

В работе были исследованы отожженные и не отожженные (при T=1223 К) ИМС типа АВ<sub>2</sub>: Zr<sub>0,05</sub>Ti<sub>0,35</sub>Ni<sub>1,3</sub>V<sub>0,2</sub>Mn<sub>0,2</sub>Co<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub> и Zr<sub>0,05</sub>Ti<sub>0,35</sub>Ni<sub>1,1</sub>V<sub>0,3</sub>Mn<sub>0,3</sub>Co<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>. Определены параметры кристаллической структуры, исследованы водородпоглощающие и электрохимические свойства.

*А. В. Чижов, Д. И. Тарасенко, В. В. Яроцкая,  
Е. Е. Корытченкова, студ.; рук. С. И. Нефедкин, д.т.н., проф.,  
М. А. Климова асс. (НИУ МЭИ)*

## **РАСЧЕТ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО ЗАПРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА**

Остров Сахалин вытянут почти на 1000 км с севера на юг. Энергоснабжение является важной составляющей развития этого региона РФ, который имеет не только богатые природные ресурсы, но и высокий потенциал ветровой энергии на побережье. Сахалин выбран Минэнерго РФ в качестве экспериментальной площадки для развития водородных технологий, связанных не только с крупномасштабным производством водорода, но и инфраструктурными водородными проектами на территории острова. План развития, предполагает, что опытный полигон для эксплуатации электропоездов на водороде появится в Сахалинской области к 2024 году.

Для такого применения необходимо создать заправочную инфраструктуру с производительностью по водороду 200 т/год. В данной работе проведен расчет ветроэнергетического комплекса на основе ветрогенератора, электролизера и системы хранения водорода. Предлагается использовать ветрогенератор L 100 2.5MW (АО «НоваВинд», ГК «Росатом») номинальной мощностью 2,5 МВт (при скорости ветра 13 м/с) и электролизер М-200 (Proton Onsite) производительностью 25 кг/час. Один такой ветрогенератор L 100 2.5MW в среднем даст около 0,57 МВт мощности, т. е. обеспечит примерно 100 т  $H_2$ /год при производстве водорода электролизом воды [1].

Для расчета выбрана площадка — поселок Правда (46,9 с. ш. 142 в.д.) с населением около 2 тыс. чел., который, кроме того, имеет потенциал развития за счет создания новых фермерских хозяйств. Ветропотенциал в данной географической точке высокий — 7,02 м/с в среднем по году (на высоте 100 м с часовым лагом).

Для производства электролизом воды 200 т.  $H_2$  в год при круглосуточном использовании нужен электролизер производительностью 25 кг/час (М-200 «Proton Onsite» в контейнерном исполнении, давление водорода 30 бар, чистота 99,999%).

Данный ветроэнергетический комплекс может обеспечить производство водорода для поезда. При его укрупнении за счет создания парка ветрогенераторов можно обеспечить децентрализованное энергоснабжение поселка, фермерских хозяйств без привозного топлива.

### **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



*А. В. Рябухин, Р. Г. Болдин, В. Д. Михневич, студенты;  
рук. С. И. Нефедкин, д. т. н., проф., М. А. Климова асс. (НИУ МЭИ)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ПЛАСТИНАХ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА**

Энергосистемы на водород-воздушных топливных элементах с протонообменной мембраной (ТЭ ПОМ) и открытым катодом показывают максимальные значения удельной мощности (до 1000 Вт/кг на батарею топливных элементов) и удельной энергии (до 700 Вт час/кг для энергосистемы), что позволяет их использовать на беспилотных летательных аппаратах. В таких конструкциях для коммутации отдельных ТЭ в многоэлементной сборке батареи ТЭ используются биполярные пластины (БП) из титана, причем их масса составляет около 70–80% от массы единичного ТЭ.

В данной работе экспериментально исследуются биполярные пластины на основе алюминия АД-1, которые могут позволить дополнительно повысить удельную мощность энергетического модуля за счет снижения массы БП. Алюминий по сравнению с титаном в 1,69 раза более легкий, в 10,8 раз более теплопроводный и в 19,1 раз более электропроводный металл. Однако алюминий по своим механическим качествам уступает титану, он более мягкий и хуже переносит нагрузки при сжатии ТЭ в батарее. Коррозионная стойкость алюминия также уступает титану. Таким образом, использование алюминия в БТЭ еще требует практического обоснования.

В данной работе исследованы коррозионностойкие низкоомные покрытия на алюминиевых биполярных пластинах, полученные методом магнетронного распыления мишеней из титана, молибдена, графита, хрома в среде реактивных газов азота и метана. Для этого использована общепринятая методика измерения тока коррозии и поверхностного контактного сопротивления на границе защитного покрытия и газодиффузионного электрода [1].

### **Литература**

1. DOE Technical Targets for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Components [E-resource]. Available on: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technicaltargets-polymer-electrolyte-membrane-fuel-cellcomponents> (10/14/20).

*Г. Р. Киселев, асп., лаб.-ис.; И. В. Пушкарева, к.т.н., инж.-ис.;  
Д. А. Симкин, инж. 1 кат.; рук. В. Н. Фатеев, д.х.н., проф.,  
рук-ль ОЭВТ ККРН (НИЦ «Курчатовский Институт»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ ВОДЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

На данный момент водород является одним из самых перспективных и экологически чистых видов топлива ввиду минимального или отсутствующего побочного продукта реакции. Актуальность данного топлива подчеркивает всплеск заинтересованности по всему миру, подкрепленный планами по развитию водородной инфраструктуры в ряде стран мира. Одновременно с этим сейчас активно развивается разработка и производство транспорта на водородном топливе.

Большая часть водорода в России получается путем конверсии метана по причине дешевизны углеводородов. Актуальной задачей на сегодняшний день является разработка и производство электролизеров с твердополимерным электролитом (ТПЭ), которые могут производить водород высокой чистоты из воды, доступной в неограниченных количествах, как в мобильных, так и стационарных условиях (в зависимости от требуемой производительности), что решает проблему безопасности транспорта водорода.

Электролиз воды под высоким давлением позволяет увеличить производительность процесса, снижая энергозатраты на компримирование водорода, но может привести к кроссоверу водорода и кислорода [1]. Однако данный эффект может быть сведен к минимуму за счет асимметрии давления путем снижения давления в анодной области электролизера.

В данной работе представлены расчеты, позволяющие оценить воздействие ряда факторов на производительность электролизера воды под высоким давлением. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации структуры мембранно-электродного блока электролизера воды с ТПЭ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (в рамках приказа № 1919 от 25.09.2020, подпрограмма 6).*

### **Литература**

1. **Tijani A. S., Rahim A. H. A.** Numerical Modeling the Effect of Operating Variables on Faraday Efficiency in PEM Electrolyzer, *Procedia Technol.* 26, 2016.

*А. И. Разакова, Р. И. Разакова, студ.;*  
*рук. А. А. Чичиров, д.х.н., проф. (ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Использование водорода в качестве топлива, рассматривается, прежде всего, как путь уменьшения загрязнения окружающей среды, решения проблемы парникового эффекта и региональных экологических проблем. Сжигание водорода сопровождается вредными выбросами — оксидами углерода, азота, серы, только при температуре выше 1000°C.

Водород — благодаря чрезвычайно высокой скорости движения своих элементарных частиц является хорошим восстановителем, что очень ценно в промышленности, в производстве аммиака, гидрокрекинге и гидроочистки целевых продуктов от серы в нефтехимической отрасли. На ТЭС водород также применяется в системах охлаждения сложных электрических установок.

Локальные установки с мощностью до 5 кВт — основанные на использовании водорода как топлива для полного обеспечения нужд пользователей в электроэнергии, без потерь на ее транспортировку. Например, проведение ЛЭП в труднодоступные регионы не потребуется, это позволит стать таким областям независимыми от централизованного энергоснабжения, что повышает надёжность получения электричества пользователями.

Стоимость водорода как энергоносителя в настоящее время существенно превышает стоимость традиционных углеводородных топлив. В сложившихся условиях возрастает интерес к технологиям производства водорода с использованием возобновляемых источников энергии: солнца, ветроустановок, из биомасс, сбраживание и горение отходов, а также биохимический способ (бактерии). Одной из особенностей технологии его выработки из биомассы является снижение содержания в атмосфере диоксида углерода, который поглощается в процессах фотосинтеза при выращивании биологического сырьевого продукта, что способствует уменьшению парникового эффекта в биосфере.

Зависимость от традиционных ресурсов влечет за собой экологические и экономические проблемы, которые можно избежать, совершив переход на водородную энергетику. Проблема, тормозящая этот переход, заключается в её высокой себестоимости, поэтому исследования по применению возобновляющих источников энергии, посвященных именно этому вопросу актуальны в ближайшие десятилетия. Основания заниматься вкладами именно в эту отрасль альтернативной энергетики очень весомы, потому что водород как топливо универсален и чист, а также более доступен.

**Секция 38**  
**ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ**  
**Economics of energy**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Курдюкова Галина Николаевна*

*Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна*

*А. Э. Файт, студ.; рук. Е. В. Сухарева доц., к.э.н (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ОТПУСКАЕМОЙ МОЩНОСТИ ВЭС НА ОРЭМ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ СРОКА ДПМ ВИЭ**

В настоящее время, в России, доля ветряных электростанций (ВЭС) на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ) неуклонно растет. Вновь построенные ветростанции имеют поддержку государства в виде гарантированного возмещения затрат инвестору через повышенную стоимость продаваемой мощности (ДПМ ВИЭ) на срок 15 лет с момента ввода в эксплуатацию [1]. На данный момент не существует методики определения цены на мощность ВЭС после окончания срока ДПМ ВИЭ. Существующие механизмы ценообразования мощности после завершения ДПМ не могут быть применены к ВЭС, так как начнется дисбаланс в системе ОРЭМ.

Целью работы является разработка методики ценообразования отпускаемой мощности ВЭС на ОРЭМ после окончания срока ДПМ ВИЭ.

Разработана методика определения цены на мощность, отпускаемая объектами ВЭС после окончания срока ДПМ ВИЭ, отличающаяся от существующих методик ценообразования мощности на ОРЭМ тем, что ее можно использовать для объектов ВЭС, срок ДПМ которых подходит к концу, для снижения стоимости энергоресурсов непосредственно для региона, где они установлены, путем продажи мощности непосредственно потребителям (энергосбытовым компаниям) региона в обход ОРЭМ. Для определения цены на мощность ВЭС предлагается установить тариф, расчет которого производится по следующей формуле:

$$T_{\text{ВИЭ}}^{\text{М}} = \frac{(\text{НВВ}^{\text{ВИЭ}} - \text{Взэ}_{\text{рсв}} - \text{Взэ}_{\text{бр}} + \text{Ззэ}_{\text{рсв}} + \text{Ззэ}_{\text{бр}}) * K_{\text{приб}}}{U_{\text{мощн}}^{\text{ВВОД}} \cdot M}, \text{ (руб./кВт)} \quad (1)$$

где  $\text{НВВ}^{\text{ВИЭ}}$  — необходимая валовая выручка на производство мощности объекта ВЭС;  $\text{Взэ}_{\text{рсв}}$ ,  $\text{Взэ}_{\text{бр}}$  — выручка за проданную электрическую энергию;  $\text{Ззэ}_{\text{рсв}}$ ,  $\text{Ззэ}_{\text{бр}}$  — затраты на покупку электрической энергии;  $U_{\text{мощн}}^{\text{ВВОД}}$  — установленная мощность объекта ВЭС;  $M$  — количество месяцев;  $K_{\text{приб}}$  — установленный коэффициент прибыли.

Данная методика может применяться для любых регионов РФ, где располагаются не только ВЭС, но и солнечные электростанции (СЭС), срок ДПМ которых близится к завершению. Это позволит исключить дисбаланс на ОРЭМ, а также снизить цену энергоснабжителя для конечного потребителя и развития производства в регионе.

### **Литература**

1. **Копылов А. Е.** Экономика ВИЭ. Изд. 2-е, перераб. и дополн. / А. Е. Копылов. — Москва, 2017. — 317 с.

*И. В. Галанина, студ.; рук. А. Ю. Амелина, доцент, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ЗАТРАТ И ВЫГОД**

Актуальность темы обусловлена недостаточным распространением применения метода анализа выгод и затрат (*cost-benefit analysis* (далее — СВА)) в российской экономике. СВА является аналитическим инструментом для оценки эффективности альтернативных решений, основанным на сопоставлении затрат и выгод, представленных в денежном выражении. Денежная оценка позволяет сопоставить разные по своему характеру и результатам альтернативы, распределять ограниченные ресурсы между разными сферами и направлениями деятельности [1].

Цель данной работы — разработка усовершенствованной методики СВА от мероприятий по энергоэффективности и энергосбережению и её апробация на примере филиала МЭС Сибири.

В работе выполнено обоснование целесообразности применяемых на энергообъектах мероприятий по энергоэффективности с использованием метода СВА. Для обеспечения оценки преимуществ проекта была разработана универсальная комбинированная многокритериальная оценка затрат и выгод. Предложенные критерии обеспечивают оценку преимуществ инвестиционных проектов.

В практической части работы были оценены основные финансовые показатели МЭС Сибири от внедрения мероприятий по снижению электрической и тепловой энергии, основной целью которых является энергосбережение и (или) повышение энергетической эффективности. В данном случае срок окупаемости превышал срок реализации проекта. После этого были определены и оценены косвенные эффекты от внедрения данных мероприятий, такие как воздействие на окружающую и социальную среду, надежность и безопасность электроснабжения и прочие. Начало внедрения мероприятий — 2019 год, период планирования — 5 лет. После проведения всех расчётов дисконтированный срок окупаемости составил 15 лет для всех мероприятий, чистый дисконтированный доход — 18,5 млн руб. Суммарный технологический эффект составил 329,21 тыс. кВт/час и 51,69 Гкал. Суммарные затраты составили 5,01 млн руб.

Таким образом, применение усовершенствованной методики оценки косвенных эффектов позволило обосновать эффективность внедрения мероприятий по энергоэффективности и энергосбережению на энергетических предприятиях.

### **Литература**

1. **Layard R., Glaister S.**, eds. *Cost-benefit Analysis*. Cambridge University Press, 1994.

*Е. А. Зинчук, студ.; рук. Д. Э. Мусаева, к.э.н. доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ**

В электроэнергетической системе спрос и предложение должны быть сбалансированы в каждый момент времени. В связи с тем, что потребление электроэнергии постоянно колеблется, энергосистемы строятся таким образом, чтобы справляться с этой переменчивостью и обеспечивать безопасное и бесперебойное энергоснабжение. Энергетическим системам присуща гибкость для постоянного поддержания баланса, нарушение которого грозит отклонением частоты и перебоями в энергоснабжении.

Один из таких новых источников гибкости в энергосистемах — управление спросом, механизм изменения потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на ценовые сигналы или прямые команды. Сигналами могут быть изменение цен на электроэнергию во времени или стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке [1].

На основании постановления правительства был создан механизм управления спросом, включающая в себя, следующие пункты:

- 1) Отбор агрегаторов Системным оператором и заключение договора на оказание нового вида услуг по обеспечению системной надежности;
- 2) Оплата услуг пилотного проекта АО «СО ЕЭС» средствами покупателей оптового рынка;
- 3) Заключение нерегулируемых договоров на оказание услуг по изменению потребления между агрегатором и потребителем;
- 4) Передача данных АО «СО ЕЭС» в АО «АТС» по объему разгрузки агрегаторов, для учета в рамках действующего механизма ценозависимого снижения потребления на оптовом рынке;
- 5) Учет и перерасчет данных, полученных от АО «СО ЕЭС» к АО «АТС»;
- 6) Рассмотрение случаев, если агрегатором является не ГП и не энергосбытовая компания;
- 7) АО «АТС» передает АО «СО ЕЭС» информацию об учете разгрузки агрегаторов в ТГ АО «СО ЕЭС»;
- 8) Снижение пиковой цены РСВ при учете объемов разгрузки агрегаторов в двойном перерасчете РСВ.

### **Литература**

1. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности. Экспертно-аналитический доклад под ред. Ф. Опядчего, Д. Холкина. Инфраструктурный центр Energy.net.2019

*Д. А. Лобанов студ.; рук. В. В. Бологова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИЭ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время с учетом роста стоимости газа и нефти, с учетом роста стоимости сооружения электростанций, работающих в базовом и полупиковом режиме, повышается актуальность использования аккумуляторов энергии, позволяющих перераспределять энергию, генерируемую возобновляемыми и традиционными источниками энергии по часам суток. Применение подобных аккумуляторов совместно с использованием ВИЭ позволит снизить потребность в топливе на существующих электрических станциях и потребность в установленной мощности и, следовательно, в величине инвестиций, при развитии энергосистем.

Проведенный анализ используемых в настоящий момент методов оценки экономической эффективности применения аккумуляторов показал, что в существующих методиках [1, 2] учитываются не все факторы, влияющие на технико-экономические показатели энергосистемы, включающей в себя различные генерирующие установки, в том числе и установки на основе ВИЭ, а также установки по аккумулярованию электрической энергии.

В работе предлагается дополнить методику расчета ЧДД с учетом следующих факторов, влияющих на составляющие этого критерия:

- коэффициент, учитывающий снижение потребности в установленной мощности и влияющий на величину постоянных затрат в результате изменения инвестиций в генерацию;
- коэффициент, учитывающий изменение совокупных инвестиций в проект энергоснабжения при включению в него аккумулярующих установок и установок с использованием ВИЭ.

В работе было проведено сравнение результатов по оценке экономической эффективности инвестиций по существующим методикам и методике, доработанной в магистерской диссертации. Результаты сравнения показали, что использование предлагаемой методики позволяет более точно оценить эффективность применения аккумуляторов и различных ВИЭ.

### **Литература**

1. **Оценка экономической** эффективности использования аккумулярующих систем в электроэнергетике. Волконский В. А., Кузовкин А. И., Чаховский В. М., Глухова М. В., Емец А. И. Проблемы прогнозирования. 2010. № 2 (119). с. 33–52.
2. **Оценка экономической** эффективности использования накопителей электроэнергии в энергосистеме. Чернецкий А. М. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2013. № 4. с. 21–28.



О. А. Жукова, студ.; рук.: А. Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «МОСГАЗ»

Система сбалансированных показателей (ССП) — это один из ключевых инструментов менеджмента, который позволяет отслеживать достижение целей в рамках реализации стратегии компании.

В данном исследовании автор предложил алгоритм стратегического управления газодобывающим предприятием на основе ССП.

В основу формирования алгоритма стратегического управления газораспределительным предприятием на основе ССП положена — концепция стратегического управления, учитывающая совокупность основных обобщающих показателей на уровне газовой компании и частных показателей на уровне производственных подразделений [1].

Объект исследования — одно из ведущих газораспределительных предприятий России — АО «МОСГАЗ». В ходе анализа финансового состояния Общества автор провел анализ и оценку финансовых показателей за 2018–2019 гг.

В целом компания к концу 2019 г. финансово устойчивая, но некоторые финансовые показатели к концу года ухудшились (см. таблица 1). Данные изменения могут в будущем оказать негативное влияние на положение Общества в целом.

**Таблица 1.** Оценка финансового состояния АО «МОСГАЗ»

Наименование коэффициента	Абс. изм. (2018–2019 гг.)
Коэффициент текущей ликвидности $L_4$	-21,17%
Коэффициент финансовой устойчивости ( $U_5$ )	-0,03
Рентабельность продаж $R_1$	-2,42%

В таблице 2 представлена продукция ССП «Финансы» двухуровневой иерархии стратегических показателей ССП предприятия газовой отрасли.

**Таблица 2.** Двухуровневая иерархия стратегических показателей ССП

Проекция ССП	Показатели ССП	Значение
Финансы	Рентабельность капитала, %	3,804
	Рост экономической прибыли (ЕР), млн руб.	18, 13
	Соотношение заемного и собственного капитала, %	0,023

Данные показатели и алгоритм ССП дают возможность газораспределительной компании отслеживать выполнение поставленных задач и траектории движения к достижению стратегических целей.

### Литература

1. Тасмуханова А. Е., Юсупова Р. В. Алгоритм использования ССП в системе стратегического управления на предприятии газовой промышленности А. Е. Тасмуханова, Р. В. Юсупова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. — 2017. — с. 1–15.

*Е. Е. Крыленко, соиск.; рук. Д. А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА РФ**

Базовая формулировка концепции устойчивого развития впервые появилась в 1987 г. в докладе «Наше общее будущее» Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития. Под устойчивой энергетикой принято понимать практику использования энергии таким образом, чтобы «удовлетворить потребности настоящего поколения, не ставя под угрозу способность удовлетворения потребностей будущего поколения» [1]. Применение парадигмы устойчивого развития в энергетической отрасли предполагает более долгосрочный подход к планированию, принятию решений и стратегическому управлению в компании.

В современных условиях концепция устойчивого развития электрогенерирующего комплекса реализуется на основе государственной энергетической политики и использовании результатов научно-технического прогресса.

Авторами предлагается принимать во внимание не только так называемые «наилучшие доступные технологии», обеспечивающие устойчивое развитие, а также учитывать наилучшие доступные ресурсы и наилучшие практики управления [2]. Объясняется это тем, что доступность ресурсов, наличие квалифицированных кадров и система менеджмента накладывают ограничения на использование наилучших доступных технологий при достижении устойчивого развития на уровне предприятия или отрасли.

Вместе с тем, устойчивое развитие электрогенерирующего комплекса будет достигаться за счет интеграции энергокомпаний и их контрагентов на базе единых принципов: научно обоснованных методов целеполагания и планирования, межотраслевой интеграции, процессного управления.

Дальнейшее исследование авторов будет направлено на разработку механизма обеспечения устойчивого развития электрогенерирующего комплекса.

### **Литература**

1. Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития «Наше общее будущее», 1987. <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>
2. Крыленко Е. Е. Методический подход к управлению устойчивым развитием электроэнергетического комплекса России // Микроэкономика. 2019. № 3. С. 45–51.

*Е. А. Кудинова, студ.; рук. Д. А. Смирнова, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА СТАНЦИИ С ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ГАЗООБРАЗНОЕ**

ПАО «Мосэнерго» является крупнейшей генерирующей компанией России. В качестве основного топлива компания использует природный газ, резервными видами топлива являются мазут и дизельное топливо [1]. В составе ПАО «Мосэнерго» находится единственная станция, которая использует не только газ, но и уголь — ТЭЦ-22.

В настоящее время на станции проводятся работы по реконструкции энергоблоков. Целью данной работы является оценка экономической эффективности перехода ТЭЦ-22 с твердого на газообразное топливо.

Более 40% выбросов производственных объектов ПАО «Мосэнерго» приходится на ТЭЦ-22. В результате сжигания угольного топлива в атмосферу выбрасываются продукты сгорания, характерные для этого вида топлива: золы, диоксид серы; увеличиваются выбросы оксидов азота. Также образуются золошлаковые отходы, которые размещаются на золоотвалах [2].

При отказе станции от угля выбросы оксидов азота от станции снизятся в три раза, выбросы диоксида серы останутся только при сжигании мазута, а выбросов летучей золы вовсе не будет. Таким образом, снизится антропогенная нагрузка на город Дзержинский и Юго-Восточный административный округ Москвы.

Также отказ от сжигания угольного топлива предоставит возможность освободить и провести рекультивацию земли на месте золоотвалов, при этом очистится пойма Москвы-реки [3].

Оценка экономической эффективности проекта показала, что его реализация приведет к повышению маржинальной прибыли, снижению условно-постоянных издержек станции на содержание угольного хозяйства. Это свидетельствует о целесообразности проекта не только по экологическим соображениям, но и с экономической точки зрения.

### **Литература**

1. О компании, Мосэнерго сегодня, ТЭЦ-22 [Электронный ресурс] // ПАО «Мосэнерго», 2020. — Режим доступа: <https://mosenergo.gazprom.ru/about/present/branch/hpp-22/>, свободный. (дата обращения 03.11.2020)
2. «Лидер климатического развития» [Электронный ресурс] // ПАО «Мосэнерго», 2018. — Режим доступа: <https://mosenergo.gazprom.ru/press/news/2018/09/480/>, свободный. (дата обращения 03.11.2020)
3. Годовой отчет / ПАО «Мосэнерго». — Москва, 2019. — 26 с.

*М. Ю. Фадеев, студ.;*  
*рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **«ИГРА С ПРИРОДОЙ» В ЭКОНОМИКЕ ЭНЕРГЕТИКИ**

Оптимизация бизнес-структур энергокомпаний основана на выборе процессов, связанных с движением денежных потоков и ресурсов. Важным условием является учёт всех возможных переменных для достижения наиболее полной картины внутренней и внешней среды.

В экономической науке иногда применяется так называемая «игра с природой». При её использовании снижается вероятность понести денежные убытки от принятия ошибочного решения, риск, значительный при отсутствии рационального механизма поведения. Его оценка исключительно важна для энергетики, особенно в части инвестиционной деятельности.

Для построения теории игры с природой, необходимо учесть верхние и нижние границы игры. Верхние границы игры задаются состоянием внешней среды, нижние — возможностями энергокомпании. Регуляторами этих границ и игры в целом являются рациональность и законодательство.

Сильной стороной игр с природой является качественное описание действий заинтересованной стороны и качественное описание состояний «природы», что в результате даст количественную оценку рационально выбранного решения при каждом состоянии «природы». [1] К числу недостатков относится то, что «природа» пассивно выбирает свои чистые стратегии, т.е. случайным образом оказывается в одном из своих возможных состояний. [2] Отсюда следует прямая зависимость количества и качества информации от выбора оптимальной структуры управления и стратегии.

В ходе научной работы решается задача оптимизации бизнес-структуры энергокомпании при сопутствующей минимизации издержек её деятельности. Эффект от применения разработанной модели основывается на высвобождении неявных финансовых издержек, скрытых в первоначально заданной и нерациональной бизнес-структуре энергокомпании.

Вторым аспектом является снижение неявных временных издержек. При оптимизации бизнес-структуры будут исключены наиболее сложные бизнес-процессы, что уменьшит упущенную выгоду и прямые штрафы.

### **Литература**

1. **Л. Г. Лабскер.** Теория игр в экономике, финансах и бизнесе: учебник / Л. Г. Лабскер, Н. А. Яценко; под ред. Л. Г. Лабскера. — Москва: КНОРУС, 2020. — 526 с.
2. **А. В. Сигал.** О совместном применении в экономике теории игр и нечёткой математики. — 2013. — № 2. — С. 161–186.

*Е. В. Сметанникова, студ.; рук. Е. И. Рукина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПАО «МРСК СИБИРИ»**

В условиях современных рыночных отношений предприятия получили самостоятельность в управлении и ведении хозяйственно-финансовой деятельности, поэтому несут полную ответственность за результаты своей деятельности перед совладельцами (акционерами), работниками, банком и кредиторами. В таких условиях важную роль играет анализ результатов деятельности и финансового состояния.

Финансовое состояние предприятия представляет собой совокупность показателей, отражающих наличие, размещение и использование финансовых ресурсов предприятия [1].

В дипломной работе анализ результатов деятельности и финансового состояния будет проведён с помощью следующих методов: анализ ликвидности, финансовой устойчивости и деловой активности предприятия, анализ банкротства и оценка кредитоспособности, анализ изменения дебиторской и кредиторской задолженности.

Предметом анализа является компания ПАО «МРСК Сибири» — одна из самых крупных компаний в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, осуществляющая услуги по передаче электрической энергии, по технологическому присоединению потребителей и обеспечивающая работу промышленности Сибирского федерального округа.

По результатам проведённого анализа (таблица 1) можно сделать вывод, что компания имеет крайне неустойчивое финансовое состояние, близкое к кризисному, которое может привести к банкротству. В 2019 году наблюдается снижение платежеспособности, повышается зависимость компании от заёмных средств, снижается эффективность работы, поскольку компания работает убыточно.

**Таблица 1.** Показатели финансового состояния

Показатель	2018 год	2019 год
Общий показатель платежеспособности	0,26	0,28
Коэффициент финансовой независимости	0,28	0,31
Рентабельность продаж	9,44	8,40
Экономическая рентабельность	1,12	-0,92

Начальными этапами для улучшения финансового положения компании может быть снижение темпа роста кредиторской задолженности и приращение собственного капитала.

### **Литература**

1. **Жилкина А. Н.** Финансовый анализ: учебник и практикум для бакалавриата и специалитета. — 2019 г. — 285 с.

*С. А. Лазуткина, студ.; рук. Е. И. Рукина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «АЛЬЯНСЭНЕРГО»**

Себестоимость является важнейшим качественным показателем, отражающим хозяйственную деятельность предприятия, а также выступает инструментом оценки технико-экономического уровня производства и качества управления.

Система управления затратами на предприятии служит основной информационной базой для внутреннего управления деятельностью фирмы, стратегии и тактики компании, непосредственно через ее функции. Основной целью этой системы является подготовка информации для принятия своевременных и прогнозирующих управленческих решений.

Предметом анализа является компания ООО «АльянсЭнерго». Предприятие специализируется на производстве пара и горячей воды а также на предоставлении услуг по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию прочего электрооборудования. Анализ эффективности системы управления затратами компании проведем на основе анализа затратоемкости по основным видам деятельности предприятия в 2018–2019 гг. (Таблица 1).

**Таблица 1.** Затратоемкость основного производства ООО «АльянсЭнерго»

Показатели	Выручка, тыс. руб.		Затраты, тыс. руб.		Уд. Вес, %	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Передача э/э	1 146 965	1 501 186	1 049 760	1 331 232	91,5	88,5
Производство и отпуск т/э	346 065	311 520	278 617	289 916	80,5	93,1
Услуги по водоотведению	143 113	145 321	158 662	170 182	110,9	117,1
Техобслуживание	255 430	221 932	221 932	244 833	86,9	90,5
Техприсоединение	57 591	55 182	45 996	44 069	79,9	79,9

Анализ показал, что основанная деятельность ООО «АльянсЭнерго» является затратоемкой, а именно: в 2018 году — 90,0 коп., а в 2019 году уже 91,0 коп. затрат на 1 руб. выручки предприятия.

Наиболее затратоемкими (убыточными) являются услуги по водоснабжению

### **Литература**

1. **Бехтерева Е. В.** Себестоимость: от управленческого учета затрат до бухгалтерского учета расходов. М: «Научная книга», 2009. — 263 с.

*М. Ю. Кудашова, студ.; рук. Е. В. Сухарева к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА УЧЁТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Наибольшее воздействие энергетических объектов на природную среду происходит через атмосферу, куда попадает значительный объем вредных веществ, способных вымываться из воздуха и осаждаться на водные поверхности и почвы

Выбрасываемые в окружающую среду продукты сгорания органических топлив содержат различные вредные токсичные вещества. Их количество зависит от: состава топлива, условий сжигания, наличия очистки уходящих газов от вредных выбросов. Основным нормативным документом, позволяющим определить величину выбросов вредных веществ от любых источников является ОНД-86.

Оценка вредного воздействия объектов энергетики на окружающую среду проводится на основе системного анализа, в котором все процессы взаимосвязаны на различных уровнях производства: добыча топливно-энергетических ресурсов, их преобразование в конечный продукт (электрическую и/или тепловую энергию, продукты переработки углеводородного топлива) и передача его конечному потребителю.

Величина платы за выбросы вредных веществ обычно основана на оценке величины затрат, которые необходимо осуществить для ликвидации последствий вредных выбросов.

Следует иметь в виду, что экологический ущерб, также как и внешние финансовые расходы, появляется только после того, как способность окружающей природной среды к самовосстановлению и саморегуляции становится ограниченной. До возникновения экологического ущерба существуют только внутренние природоохранные издержки природопользователя [1].

В целях стимулирования юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную и (или) иную деятельность, к проведению мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду и внедрению наилучших доступных технологий при исчислении платы за негативное воздействие на окружающую среду к ставкам такой платы применяются коэффициенты, применение которых позволит как получить наиболее полную и комплексную оценку существующего состояния природной среды, так и определить влияние на элементы природной среды в результате перспективного развития объектов энергетики.

### **Литература**

1. Балацкий О. Ф., Мельник Л. Г., Яковлев А. Ф. «Экономика и качество окружающей природной среды» Гидрометеиздат, 1999 г.

Д. А. Смирнова, соиск.; Е. Е. Крыленко, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

## ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Профессором Лозенко В.К. в [1] по аналогии с понятием «техноценоз» введено понятие «бизнесценоз», которое было определено как «сообщество слабо-связанных и слабо-взаимодействующих людей и технических систем, ограниченное в пространстве (организация, регион, страна, группы стран, мир) и времени».

В соответствии с законом информационного отбора, любой техноценоз и, соответственно, любой бизнесценоз устойчив тогда и только тогда, когда структура его элементов по повторяемости видов определяется гиперболическим  $H$ -распределением [2].

В рамках подобного бизнесценоза предлагается рассмотреть тепловые электроцентралы, работающие на данный момент в России. Самой мощной по тепловой выработке из них является ТЭЦ-21 ПАО «Мосэнерго» с тепловой мощностью 4958 Гкал/ч, самой маломощной является мини ТЭЦ Измайлово ПАО «МОЭК» с тепловой мощностью 8 Гкал/ч. Общее количество ТЭЦ в ценозе равно 351, все распределены по 25 рангам.

На рисунке 1 представлены графики идеального и фактического ранговых параметрических распределений тепловых электроцентралей.

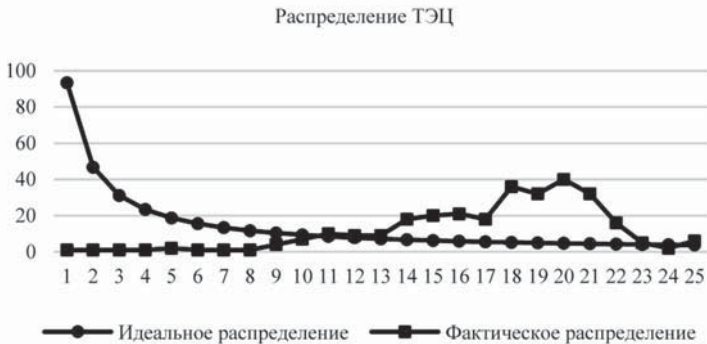


Рис. 1. Параметрическое ранговое распределение ценоза

Анализ показал, что фактическое и идеальное ранговые распределения существенно отличаются, что может говорить о неустойчивости системы.

### Литература

1. Лозенко В. К. Менеджеру — основы технотехники и технетики // Бизнес-образование. 2002. № 2. С. 53–62.
2. Лозенко В. К., Муборакшоева Д. Т. Ценологический подход к исследованию рынка деловой авиации // Материалы XV конференции по философии техники и технетике и семинара по ценологии (Москва, 19 ноября 2010 г.). Вып. 47. «Ценологические исследования». — М.: Технетика, 2011. — 400 с.



*В. С. Жальнина студ.; рук.: Д. Г. Шувалова к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Территориальная сетевая организация представляет собой субъект естественной монополии и регулируется государством. В данном контексте государственное регулирование позволяет нивелировать разницу между расходами организации и социальной нагрузкой на потребителей. Складывается ситуация, при которой население и предприятия, потребляющие электрическую энергию по установленным тарифам, являются социально защищенными, в то время как территориальные сетевые организации обязаны отчитываться о своих затратах и получают сниженный тариф, в случае если эти затраты экономически не обоснованы. Основная проблема заключается в отсутствии механизма перспективного планирования деятельности таких организаций, который бы соблюдал требования законодательства и позволял фирмам по максимуму удовлетворять свои потребности в ресурсах.

В рамках исследования разработана модель оптимизации деятельности территориальных сетевых организаций с учетом их специфики, в основе которой лежит производственная функция Кобба–Дугласа [1]. Так как максимизация прибыли предусматривает увеличение объема выпуска до соответствующей величины спроса, а в отношении территориальных сетевых организаций объем отпуска электрической энергии задан экзогенно, обоснованно рассматривать модель оптимизации с точки зрения снижения затрат.

Таким образом, полученная задача оптимизации описывает условия минимизации издержек, то есть необходимой валовой выручки, с учетом влияния таких факторов, как объем условных единиц, средняя заработная плата в регионе, объем полезного отпуска и цена потерь в сетях. При этом для оценки влияния каждой переменной на величину издержек предлагается использовать метод наименьших квадратов [2].

Апробация полученной модели на конкретном примере доказала ее статистическую значимость и позволила сформулировать предложения по совершенствованию деятельности территориальной сетевой организации.

### **Литература**

1. **Производственная функция** Кобба-Дугласа и управление экономико-технологическим развитием. Юсим В. Н. Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2018. № 2 (98). с. 105–114.
2. **Применение метода** наименьших квадратов в экономике. Василенко С. С., Бобыр В. Н., Маркушина А. А. Управление качеством в образовании и промышленности. 2020. № 1. с. 80–85.

Ань Юйлинь, студ.; рук.: Д. В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЭС

В современных условиях, характеризующихся постоянным ростом технологий и снижением себестоимости реализации инвестиционных энергетических проектов, одним из самых динамично развивающихся секторов мировой экономики является ветроэнергетика.

В связи с этим, обоснование эффективности строительства ветряных энергетических станций (ВЭС) представляет несомненную актуальность для повышения результативности функционирования энергетического сектора.

Для обоснования эффективности строительства ВЭС проведен сравнительный анализ данных компании «Lazard», которые были получены на основе расчета эффективности инвестиций в строительство и опыта эксплуатации различных видов энергетических станций (таблица 1). [1]

**Таблица 1.** Сравнительный анализ эффективности строительства различных видов электростанций [1, 2]

Показатель	ТЭС	ВЭС	ГЭС
Выработка электроэнергии в год, МВт·ч	2520000	2520000	2520000
Инвестиционные затраты на строительство, млн долл.	569	3411	8356
Постоянные операционные затраты в год, млн дол.	8	61	53
Переменные операционные затраты на 1 кВт ч, долл.	0,050	0,000	0,000
Нормированная стоимость электроэнергии (LCOE) долл./МВт·ч	60	69	130
Объем выбросов на 1 МВт·ч произведенной энергии	0,03–0,09	0,025	0,01–0,1

На основании проведенного анализа эффективности строительства различных видов электростанций можно сделать вывод, что ВЭС имеют несомненные преимущества по показателям энергетической эффективности, экологичности и LCOE. Учитывая тенденции снижения стоимости производимой энергии, ВЭС помогут решить проблемы энергетического и экологического кризиса, что делает их строительство обоснованным и эффективным.

### Литература

1. **Levelized Cost of Energy** and Levelized Cost of Storage 2019 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019>
2. **Renewable energy sources** and climate change mitigation [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)

*М. С. Скиба студ.; рук.: В. В. Бологова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ АО ОЭК**

Тема «управление инвестиционной деятельностью» не потеряла актуальности и в наши дни, так как от правильности выбора и разработки способов управления инвестициями зависит успех компании. Существует много направлений по разработке, планированию и управлению инвестиционной деятельностью. Принятие решения об инвестировании — процесс сложный [1], т.к., во-первых, объектов инвестирования много, а ресурсы ограничены, во-вторых, нужно иметь знания и навыки, чтобы грамотно и рационально распорядиться инвестиционной деятельностью и дать экономическую оценку эффективности инвестиционных проектов, в-третьих, вложенные средства должны принести полезный результат, причём он должен быть больше тех средств, которые были вложены в проект.

В работе был рассмотрен проект энергосбережения и повышения энергетической эффективности АО «ОЭК» — ввод трансформаторных мощностей, реконструкция линий электропередач и создание АИИС КУЭ АО «ОЭК», которая позволяет оперативно формировать полезный отпуск электроэнергии, обеспечит мониторинг состояния сети. Целью данного проекта является реализация приоритетных направлений государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, обеспечение режима надежного, бездефицитного энергоснабжения развития экономики города Москвы [2]. В процессе выполнения работы был определен размер необходимых для реализации проекта инвестиций и изменение величины текущих эксплуатационных затрат, а также рассчитаны критерии оценки экономической эффективности.

В результате проведенных расчетов и анализа было установлено, что проект является экономически эффективным, так как срок окупаемости меньше периода реализации проекта, и рекомендуется к реализации. За счёт проведенных мероприятий и сравнения результатов экономической оценки была разработана стратегия инвестиционной деятельности АО ОЭК, что позволило понять какие инвестиционные проекты экономически целесообразно осуществлять для компании и каким проектам стоит отдать предпочтение в первую очередь.

### **Литература**

1. **Щевьева В. А.** Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. — М.: Изд. дом МЭИ, 2008. — 232 с.
2. **Программа энергосбережения** АО ОЭК (корректировка на 2019–2022 год).

*Д. А. Смирнова, соиск.;  
рук. Д. Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ДИАПАЗОНА ТАРИФА НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ, ПРИЕМЛЕМОГО ДЛЯ УЧАСТНИКОВ КОНЦЕССИОННОГО СОГЛАШЕНИЯ**

Решить проблему нехватки финансирования в тепловую энергетику можно, привлекая частные инвестиции с помощью одного из механизмов взаимодействия государства и бизнеса, а именно концессионных соглашений. Концессионное соглашение, или концессия, — договор о передаче в пользование на возвратной основе на определенный срок (или без указания срока) совокупности исключительных прав, являющихся собственностью правообладателя. В рамках концессионного соглашения концессионер обязуется реконструировать или модернизировать за собственный счет объект, переданный ему во временное пользование.

Как правило, модернизация направлена на повышение энергоэффективности и энергосбережения. Поэтому происходит снижение отдельных статей затрат при неизменности или незначительном увеличении остальных. Например, при оптимизации режимов горения и замены горелок в котельной снизятся затраты на топливо за счет снижения удельного расхода топлива и затраты на текущий ремонт, но увеличатся амортизационные отчисления за счет увеличения стоимости и/или количества оборудования. Снижение себестоимости позволит увеличить рентабельность предприятия.

Формирование тарифа имеет особенности, которые ограничивают его величину как минимумом, так и максимумом (рис. 1). Минимальная величина тарифа определяется технологиями производства и обязательными платежами, а максимальная величина ограничена законодательством.



**Рис. 1.** Диапазон приемлемого тарифа на тепловую энергию

Таким образом, разработана системная модель, позволяющая рассчитать минимальную и максимальную величину тарифа, при котором будет достигаться максимальная рентабельность предприятия.

**Направление VIII**

**ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА  
И ТЕПЛОФИЗИКА**

**Nuclear energy and thermophysics**

---

**Руководитель направления:**

д.т.н., член-корр. РАН

Дедов Алексей Викторович —

директор института тепловой и атомной  
энергетики НИУ «МЭИ»

**Секция 39**  
**АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ**  
**СТАНЦИИ И УСТАНОВКИ**  
**Nuclear power plants and installations**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Аникеев Александр Викторович*

*Секретарь секции: к.т.н. Каверзнев Михаил Михайлович*

*И. А. Никитченко, студ.;*  
*рук. К. Н. Проскураков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОД РАСЧЕТА ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ НАД ДЫРЧАТЫМ ЩИТОМ ПАРОГЕНЕРАТОРА**

Используя метод электро-акустической аналогии произведен расчет частоты колебаний в паровом объеме парогенератора [1]. Акустические колебания генерируются в различных внутрикорпусных устройствах парогенератора. В данной работе рассматривается акустическая система, состоящая из парового объема парогенератора, ограниченного снизу пароприемным дырчатым щитом, а сверху образующей корпуса парогенератора с присоединенными паротводящими патрубками, обладает свойствами, которые можно отнести к свойствам самоорганизующихся систем из-за наличия отрицательного сопротивления.

В работе исследована зависимость частоты акустических стоячих волн от уровня воды в парогенераторе. Данная зависимость позволяет, как определить частоту по уровню воды, так и уровень воды по частоте акустических волн, что может быть использовано как метод диагностики. При расстояниях от нижней образующей корпуса до уровня воды в парогенераторе: 1.2, 1.4 и 1.6 м получены значения частот акустических стоячих волн (АСВ): 18.2, 16.4 и 15.0 Гц соответственно. Известно, что при совпадении частот колебаний с собственной частотой оборудования, возможно повышения уровня вибрационного воздействия. Из приведенных в литературе данных о вибрациях основного оборудования первого контура атомной станции видна близость полученных значений с обратной частотой главного циркуляционного насоса, равной 16.6 Гц [2].

Таким образом, среда с двух сторон парогенератора, как со стороны первого контура, так и со стороны второго контура, имеет близкие частоты колебаний, что создает условия для повышенных вибраций и резонанса при совпадении данных частот, если произойдет изменение уровня воды в парогенераторе и соответствующее изменение частоты.

### **Литература**

1. **Проскураков К. Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС: Учебное пособие по курсу «Диагностика технологических процессов в ЯЭУ», М.: Изд-во МЭИ, 1999. — 68 с. — ISBN 5-7046-0424-2 : 4.40.
2. **Аркадов Г. В., Павелко В. И., Усанов А. И.** Виброшумовая диагностика ВВЭР: М.: Изд-во Энергоатомиздат, 2004 г., — 344 с. — ISBN 5-283-00787-1.

*Д. К. Басов, студ.;*

*рук. В. И. Слободчук, к.т.н., доц. (ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПЕРЕХОДА НА ЕСТЕСТВЕННУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ВВЭР-1000 ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ВСЕХ ГЦН**

Безопасность атомной станции в значительной степени определяется надежной и безопасной работой реакторной установки. Безопасность реакторной установки с реактором ВВЭР-1000 определяется как наличием систем безопасности, предусмотренных в проекте, так и внутренней самозащищенностью самого реактора. Возможность отвода остаточного тепловыделения за счет естественной циркуляции теплоносителя является одной из характеристик самозащищенности.

В работе рассматривается режим перехода на естественную циркуляцию теплоносителя в первом контуре при отключении всех ГЦН. Построена модель первого контура реакторной установки с реактором ВВЭР-1000 (проект В-320), включающая четыре петли, связь с компенсатором давления и гидроемкостями системы аварийного охлаждения активной зоны. Для проверки работоспособности модели выполнено моделирование режима работы на номинальном уровне мощности. Моделирование выполнено в среде ANSYS CFX. Проведено сравнение полученных результатов (расход, распределение давления, распределение температуры) с проектными значениями. Получено хорошее совпадение расчетных и проектных значений.

Далее выполнено моделирование аварийной ситуации с отключением всех ГЦН. Учен выбег насосов в соответствии с проектными характеристиками. Остаточное энерговыделение в активной зоне описывается корреляцией Уэя-Вигнера. Результаты моделирования показали, что в контуре теплоносителя устанавливается устойчивая естественная циркуляция, позволяющая надежно охлаждать активную зону в течение длительного времени. Таким образом, расчетным путем подтверждается безопасность реакторной установки в режиме с отключенными ГЦН.

Построенная модель может быть использована для моделирования режимов работы реакторной установки с отключением одного или двух из работающих ГЦН, а также для моделирования режимов со сбратыванием гидроемкостей САОЗ. Также модель может быть использована в учебном процессе при обучении студентов по ядерно-энергетическим специальностям.



*А. С. Никулин, студ.; рук. В. И. Мелихов проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ СХЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Запроектная авария, приводящая к разрушению или плавлению активной зоны реактора, называется тяжелой. Важное место в сценариях тяжелых аварий на АЭС занимает рассмотрение взрывных явлений, способных разрушить контейнмент. Одним из таких является паровой взрыв, когда расплав активной зоны реагирует взрывным образом с остатками воды в корпусе реактора или при его истечении в шахту реактора, заполненную водой [1].

Целью настоящей работы является разработка новой численной схемы для решения системы уравнений, описывающей паровой взрыв при контакте кориума с водой. Анализ многофазных процессов, подобных паровому взрыву, основан на использовании многоскоростной модели (multi-fluid model), в которой каждая фаза (вода, пар, струя расплава, крупные капли расплава, мелкие фрагменты расплава) описывается с помощью специального континуума [2]. Для каждой фазы выполняются уравнения сохранения массы, импульса и энергии с учетом межфазного взаимодействия. Сложная система нелинейных уравнений с многочисленными полуэмпирическими корреляциями требует устойчивой надежной численной схемы решения, позволяющей проводить расчеты в широком диапазоне параметров.

Создание численной схемы происходило в соответствии с принципом «от простого к сложному». На первом этапе рассматривалась задача о распространении ударных волн в идеальном газе. Было выбрано несколько базовых схем решения, которые тестировались на аналитических решениях. Затем эти численные схемы были обобщены на случай распространения взрывных волн в пароводяной смеси, и в заключение рассмотрена полная модель парового взрыва. Сопоставление результатов расчетов по различным численным схемам на основе нескольких критериев (точность, устойчивость, время расчета) позволило определить оптимальную схему решения.

### **Литература**

1. **Гудеменко Д. В., Мелихов В. И., Мелихов О. И.** Исследование термической детонации на основе модели микровзаимодействий // Вестник МЭИ, 2017, № 2, С. 32–39.
2. **Нигматулин Р. И.** Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987.

*Т. Т. Ле, асп.; рук. В. И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКИ КОДА STEG-M

Код STEG-M разработан на кафедре АЭС для моделирования теплогидравлических процессов, протекающих во втором контуре горизонтального парогенератора (ПГ) для различных типов РУ АЭС с ВВЭР. Была проведена валидация кода на экспериментальных данных по гидродинамике горизонтального ПГ [1] и выполнено исследование выравнивающей способности различных конструкций погруженного дырчатого листа [2]. Одним из недостатков кода STEG-M являлось длительное время расчета, так, например, для достижения стационарного состояния ПГВ-1000 на сетке 82x118x76 требовалось 2 месяца непрерывной работы ноутбука ASUS-X555L (Intel Core i7-5550U CPU @ 2.40GHz). В данной работе выполнена оптимизация расчетной методики, что позволило существенно ускорить выполнение расчетов.

Первоначально для решения системы линейных уравнения (СЛАУ) в коде применялся метод последовательной релаксации SOR, который затем был заменен на обобщенный метод минимальных невязок GMRES. Однако, как показал анализ литературы, одним из наиболее быстрых методов решения СЛАУ является стабилизированный метод бисопряженных градиентов с предобуславливанием Bi-CGStab [3] с использованием OpenMP (Open Multi-Processing), т. е. параллельного программирования многопоточных приложений на многопроцессорных системах. Последний фактор намного повышает скорость расчета. В Таблице показано время расчета модели ПГВ-1000 на сетке 82x118x76 при использовании различных методов решения СЛАУ и в зависимости от числа потоков процессора. Удалось в 16 раз ускорить решение СЛАУ и добиться приемлемого времени расчета одного варианта.

**Таблица.** Время расчета ПГВ-1000

Число потоков	Метод	Время расчета, сутки
1	SOR	59,3
1	GMRES	31,2
1	Bi-CGStab	25,0
2	Bi-CGStab	13,0
4	Bi-CGStab	6,7
8	Bi-CGStab	3,74

### Литература

1. **Le T. T., Melikhov V. I. et al.** 2020 Nuclear Engineering and Design, Volume 356, 110380. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110380>.
2. **Le T. T., Melikhov V. I. et al.** 2020 Annals of Nuclear Energy, Volume 148, 107715. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107715>
3. **Van der Vorst H. A.** 1992 SIAM Journal of Scientific and Statistical Computing, 13: 631–644.

*Ю. А. Седова, Т. К. Зырянова, студенты;  
рук. Т. А. Бокова к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)*

## **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ «МЕЖКОНТУРНАЯ НЕПЛОТНОСТЬ ПАРОГЕНЕРАТОРА» ДЛЯ РУ БРС-ГПГ**

В циркуляционном контуре с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ) необходимо решить задачу поддержания качества теплоносителя. Данная задача включает в себя контроль значения термодинамической активности кислорода применительно к циркуляционным контурам [1]. Одной из наиболее потенциально опасных аварийных ситуаций в энергетических контурах с ТЖМТ является «межконтурная неплотность парогенератора», одним из признаков которой является монотонное увеличение содержания кислорода в теплоносителе, что ведет к росту образования нежелательных оксидов теплоносителя. Также рост соединений кислорода может наблюдаться по ряду других причин. Для поддержания заданного значения термодинамической активности кислорода вводятся газы, за количеством введения которых должен осуществляться непрерывный контроль, для предотвращения превышения величины газонасыщения в контуре [2].

Цель исследования — оценка эффективного поддержания качества теплоносителя методом падающих струй для реакторной установки БРС-ГПГ при аварийной ситуации «межконтурная течь парогенератора». Для реализации данной цели будет проведен оценочный расчет необходимого количества вводимого водорода для понижения термодинамической активности кислорода, и последующий расчет газонасыщения всего контура.

Полученные в результате работ данные будут являться рекомендованными для эффективной работы системы технологии теплоносителя при аварийной ситуации «межконтурная течь парогенератора» в РУ БРС-ГПГ, а также будут являться отправной точкой для дальнейших исследований поддержания качества теплоносителя в иных исследовательских и реакторных контурах с ТЖМТ.

### **Литература**

1. **Безносков А. В., Драгунов Ю. Г., Рачков В. И.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике, МОСКВА: ИздАТ — 2006.
2. **Безносков А. В., Бокова Т. А., Боков П. А.** Технологии и основное оборудование контуров реакторных установок, промышленных и исследовательских стэндов со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями: учеб. пособие / Безносков А. В., Бокова Т. А., Боков П. А.; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2015. — 488.

*Т. К. Зырянова, Ю. А. Седова, студенты;  
рук. Т. А. Бокова к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ «ЛЕГКОЙ» ФРАКЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

В любом циркуляционном контуре с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ) вопрос поддержания качества теплоносителя, поддержание заданного окислительно-восстановительного потенциала решается, как правило, вводом водородосодержащих или кислородосодержащих соединений. Неконтролируемый по объему ввод газовой составляющей в циркуляционный контур влечет за собой повышение уровня в установке, возникновение возможности «заброса» расплава металла в газовую систему, забивание компенсационных трубок контрольного оборудования, нарушение нормальной работы циркуляторов [1]. Количество вводимого газа должно непрерывно контролироваться. Процесс газонасыщения контура с ТЖМТ мало изучен, исследования в данном направлении проводились лишь под определенные задачи.

Основная цель исследования — экспериментальное определение влияния наличия «легкой» фракции на изменение объема тяжелого жидкометаллического теплоносителя в статических условиях. Для реализации данной цели были проведены исследовательские испытания по определению напряжений при разрыве в поперечном сечении столба расплава свинца с различным составом «легкой» фазы, был зафиксирован уровень ТЖМТ в каждой серии проводимых исследований. Применялись несколько вариантов истечения газа с сохранением эквивалентной площади сечения — из обрезка прямой трубы и через сопловой насадок [2]. Также были определены размеры и скорости всплытия газовых пузырей в каждой серии исследований.

Исследования проводились на стенде ФТМ-2018-2, смонтированном на базе кафедры «Атомные и тепловые станции» НГТУ. Полученные результаты исследований являются отправной точкой для дальнейших исследований, также на основе этих результатов могут быть составлены рекомендации к проектированию контуров с ТЖМТ.

### **Литература**

1. **Безносков А. В., Драгунов Ю. Г., Рачков В. И.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике, МОСКВА: ИздАТ — 2006.
2. **Кузьмин К. В.** Экспериментальное определение влияния наличия «легкой» фракции на изменение объема тяжелого жидкометаллического теплоносителя в статических условиях: магистерская дис.: 13.04.01 / Кузьмин Кирилл Владимирович — г. Н. Новгород, 2019.

*Д. К. Долгополов, А. Е. Симонов, студенты;  
рук. Ю. Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВТОРОГО КОНТУРА В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА**

Опыт эксплуатации атомных ледоколов показал, что существует проблема повреждаемости трубной секции парогенераторов (ПГ) заключающаяся в ее растрескивании [1]. Поэтому оценка текущей обстановки в ПГ атомного ледокола и ее прогноз на будущее является исключительно важной задачей.

Разработка расчетной модели процессов в ПГ атомного ледокола позволит получить характеристики реальных процессов, понять их механизмы, оптимизировать конструкцию и разработать способы модернизации для его усовершенствования. Основной задачей данной работы является изучение движения теплоносителя второго контура в трубе в парогенераторе ПГ-28(с) с целью определения причин отказов секций трубных систем. Расчеты производились с использованием кодов вычислительной гидродинамики (CFD).

В докладе приведены конструкционные особенности участка трубной секции ПГ, подверженного растрескиванию, и изучен характер самих повреждений. Был проведен анализ зафиксированных случаев и сделан вывод, что возможными причинами образования дефектов могут быть: наводораживание со стороны первого контура, явление кавитации и/или образование вихрей со стороны второго контура.

В работе представлены расчетные модели участка трубы в районе шва № 62, где в процессе эксплуатации были зафиксированы повреждения, для основных режимов работы парогенератора ПГ-28с. Был проведен анализ результатов и сравнение моделей с учетом шероховатости стенок трубы и без.

Моделирование, проведенное в ходе данных исследований, позволило изучить явления в потоке теплоносителя второго контура, которые могли стать причиной растрескивания трубчатки. Это даст возможность в дальнейшем модернизировать конструкцию парогенераторов рассмотренного типа, чтобы решить проблему повреждаемости трубной секции в ходе эксплуатации.

### **Литература**

1. **Д. С. Уртенев, Ю. Б. Воробьев и др.** Особенности водно-химического режима I контура и проблемы эксплуатации оборудования реакторных установок атомных ледоколов, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2020, № 8, с. 86–92

*А. Л. Малышева асп.; рук. Ю. Б. Воробьев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ**

В докладе представлен подход на основе совместного использования ряда расчетных кодов для решения проблемы растрескивания трубчатки парогенераторов (ПГ) атомных ледоколов. В частности, формулируются направления работ по разработке и расчетно-теоретическому обоснованию механизма возникновения аномально наводораживания титанового сплава в месте экспериментально обнаруженного растрескивания [1], приводятся результаты расчетов.

Во всех зафиксированных случаях отказов ПГ атомных ледоколов причиной является аномально наводораживание титанового сплава. Исследование причин данного негативного явления в материалах конструкции позволит обосновать рекомендации по их устранению и тем самым обеспечит герметичность трубчатки ПГ [2].

На основе многофизического, многомасштабного подхода для расчетного исследования процессов радиационно-химических превращений, межфазного массопереноса и транспорта компонентов водного теплоносителя разработана подробная модель ПГ на основе кода улучшенной оценки Relap5. Были рассчитаны макропараметры, хорошо совпавшие с проектными значениями. Полученные характеристики теплоносителя в элементах ПГ, в свою очередь, использовались далее в более детальных моделях CFD кода, которые моделируют сложное движение теплоносителя первого контура на входе в ПГ и на выходе из него и предназначаются для уточненного анализа возможности транспорта газов в нижней части ПГ на входе во внутренний цилиндр (стакан). Результаты расчетов по предложенным CFD моделям, доказывают возможность транспортировки газа до входа в оболочку (стакан) труб питательной воды. Полученные результаты показывают обоснованность выбранного подхода.

### **Литература**

1. **Отчет ФГУП ЦНИИКМ «Прометей».** Анализ результатов материаловедческих исследований и испытаний образцов, вырезанных из ПГ-28 АППУ, а/л «Таймыр», разработка, оформление и согласование заключений и рекомендаций, 2015 г.
2. **А. М. Бахметьев, Н. Г. Сандлер и др.** Анализ возможных причин и механизмов отказов трубных систем парогенераторов атомных судов. Арктика: экология и экономика № 3 (11), 2013 стр. 97–101.

С. Н. Потеряев, студент;  
рук. С. Е. Щеклеин, д. т. н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЖИДКОГО ВОЗДУХА ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ АЭС

Повышение манёвренности энергоблоков АЭС серьёзной проблемой, решение которой позволит значительно повысить конкурентоспособность энергоблоков и увеличить надёжность энергосистемы. Использование системы аккумулирования энергии при помощи жидкого воздуха является одним из возможных решений данной проблемы.

Рассмотрим установку [1], использующую циклы ожижения методом адиабатического расширения газа в детандере [2]. Для моделирования установки была использована программа Aspen Hysys. Подогрев воздуха перед турбиной до 30°C. Эффективность используемого цикла находим по формуле:

$$\eta_{\text{цикла}} = \eta_{\text{ож}} \cdot \eta_{\text{турб}} \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{ож}}$  — КПД ожижительной части [3],  $\eta_{\text{турб}}$  — КПД турбинной части,  $\eta_{\text{цикла}}$  — КПД полного цикла,  $l$  — полезная работа.

### Сравнение циклов работы установки

Циклы	Давление сжатия, МПа	$l$ , кВтч/кг	$\eta_{\text{цикла}}$
Среднего давления	4	0,60	0,48
Промежуточного давления	15	0,51	0,59
Высокого давления	20	0,49	0,61

Как следует из таблицы общая эффективность ожижения воздуха и производства электрической энергии ( $\eta_{\text{цикла}}$ ) максимальны для цикла высокого давления. Однако данные установки сложнее в реализации и обслуживании, т. к. требуют использования компрессоров с системами отвода тепла.

Доведение процесса сжатия до максимально близкого к изотермическому позволит ещё больше увеличить эффективность установки в целом.

### Литература

- [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha-krioenergetika/> (дата обращения 08.10.2020).
- А. И. Шальников. Физика низких температур: Пер. с англ. М.: 1959, 86–96 с.
- А. Н. Плановский. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1967, 554–559 с.

*С. Н. Потеряев, студент;  
рук. С. Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТОПЛИВ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ АЭС**

В энергетике АЭС покрывают базовую часть суточного графика энергетической нагрузки и не участвуют в его регулировании, что влияет на их конкурентоспособности и надёжности энергосистемы. Одним из возможных решений является постройка или переоборудование тепловых станций под топливо на основе металлов. Достоинства такого решения: экологическая чистота продуктов сгорания, низкие затраты на хранение и транспортировку.

Потенциальная эффективность топлива,  $Q_1$ , (реакции с кислородом):

$$Q_1 = \Delta H / n \cdot A, \quad (1)$$

где  $\Delta H$  — молекулярная теплота образования окисла, кДж/моль [1];  $n$  — число атомов элемента, входящее в молекулу окисла;  $A$  — молярная масса, г/моль.

Энергетическая эффективность топлива,  $\Theta_1$ :

$$\Theta_1 = Q_1 / Q_2, \quad (2)$$

где  $Q_1$  — электрическая энергия (цикл ГТУ), кДж/г,  $Q_2$  — удельная энергия на получения металла, кДж/г [2].

### **Расчётные величины энергетической эффективности металлических топлив**

Элемент	Формула	$\Delta H$ , кДж/моль	$Q_2$ , кДж/г	$Q_1$ , кДж/г	$\Theta_1$ , отн.ед.
Mg	MgO	601,2	64,8	24,73	0,38
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1675,0	174	31,04	0,18
Be	BeO	598,7	620	66,43	0,11
Fe	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1117,7	18	6,67	0,37

Алюминий является элементом наиболее доступным и нашедшим широкое применение в качестве ракетного топлива, так как обладает высокой теплотой сгорания. Развитие электрометаллургических технологий позволит рассматривать в дальнейшем энергетическое применение и других металлов.

### **Литература**

1. **Г. В. Лямина.** Химическая термодинамика: учебное пособие. Томск: Изд. Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2007., 82 с.
2. **В. Смил.** Создание современного мира: материалы и дематериализация. М.: ООО «ПрофЛингва», 2017, 296 с.



*С. Н. Потеряев, студент;  
рук. С. Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МАНЁВРЕННОСТИ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

На сегодняшний день энергоблоки АЭС покрывают только базовую часть графика электрической нагрузки и не участвуют в его регулировании. Именно поэтому необходим поиск новых способов маневрирования АЭС. Это позволит повысить их конкурентность на рынке, а также увеличит надёжность энергосистемы в целом [1].

Аккумуляция электрической и/или тепловой энергии в период спада её потребления с последующим использованием в пиковые периоды нагрузок возможно только при создании специальных накопителей энергии или аккумулирующих электростанций. Рассмотрим наиболее подходящие и доступные на сегодняшний день методы хранения энергии.

### **Технологические показатели некоторых систем аккумуляции энергии**

<b>Технология аккумуляции</b>	<b>Прирост пиковой мощности, МВт</b>	<b>Энергоемкость, МВт·ч</b>	<b>Срок службы, лет</b>	<b>КПД, %</b>
ГАЭС	840	4000	50	73
CAES	30–300	1560	20	65
Электрохимические аккумуляторы	10–100	30–400	10–25	80–90
CATЭ	65–205	260–820	50	80
LAES	5	15	30	50–70

ГАЭС — гидроаккумулирующая электростанция; CAES — воздушная аккумуляционная установка высокого давления; CATЭ — система аккумуляции тепловой энергии; LAES — криоэнергетическая воздушная аккумуляционная установка [2].

В Англии действует опытная LAES мощностью 300 кВт, разработчик фирма Highview планирует запустить в работу коммерческую энергетическую систему на жидком воздухе выходной мощностью 3,5 МВт, а затем нарастить производительность комплекса до 8–10 МВт [3].

### **Литература**

1. **В. М. Беркович.** О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций — Теплоэнергетика. 1974, № 6. С. 16–19.
2. **Н. И. Абросимова.** Оптимизация параметров и режимов работы энергокомплекса АЭС+CATЭ: дис. к.т.н.: 05.14.03. — М., 2016, 222 с.
3. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha-krioenergetika/> (дата обращения 08.10.2020).

*А. Е. Симонов, Д. К. Долгополов, маг.;  
рук. Ю. Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ И ТРАНСПОРТА ГАЗОВ В СТАКАНЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРА АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА**

Атомный ледокол является уникальным и дорогостоящим проектом. Поэтому особая важность придаётся надёжной эксплуатации кораблей и их реакторных установок. Опыт эксплуатации показал, что существует проблема повреждаемости трубной секции парогенераторов (ПГ) заключающаяся в ее растрескивании [1]. Поэтому оценка текущей обстановки в ПГ атомного ледокола и ее прогноз на будущее является исключительно важной задачей.

Несмотря на проводимые в последние годы сотрудниками НИЦ «Курчатовский институт» исследования для поиска потенциальных причин образования дефектов трубочек парогенераторов, полноценная, детальная модель этого агрегата до сих пор отсутствует. Так как аномальное наводороживание было зафиксировано в верхней части стакана [2], то основной задачей данного исследования является расчетное моделирование процессов транспорта газовой фазы в данную область с использованием кода вычислительной гидродинамики (CFD).

В работе приведены конструкционные особенности участка трубной секции ПГ, подверженного растрескиванию, и изучен характер самих повреждений. Была изучена и проанализирована литература, посвященная данной проблеме.

Была разработана расчётная модель стакана питательных труб парогенератора атомного ледокола с использованием CFD кода ANSYS CFX на основе концепции многомасштабного и многофизического подхода. Создана геометрия и расчётная сетка характерной части стакана питательных труб ПГ, произведены расчеты на разных высотах, выполнен анализ результатов.

Данное моделирование позволяет детальнее изучить физические процессы в стакане парогенератора, транспорт газа. Это дает возможность для составления будущих моделей уже верхней части стакана питательных труб в непосредственной близости области наводороживания и охрупчивания, после которого можно принимать решения по модернизации конструкции парогенератора для решения данной проблемы.

### **Литература**

1. **Д. С. Уртенев, Ю. Б. Воробьев и др.** Особенности водно-химического режима I контура и проблемы эксплуатации оборудования реакторных установок атомных ледоколов, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2020, № 8, с. 86–92
2. Отчет ФГУП ЦНИИКМ «Прометей» «Анализ результатов материаловедческих исследований и испытаний образцов, вырезанных из ПГ-28 АППУ, а/л «Таймыр», разработка, оформление и согласование заключений и рекомендаций». — Спб.: ФГУП ЦНИИКМ «Прометей», 2015 г.

*С. А. Токарев, асп.; рук. В. И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА СТЕНДЕ СОУ**

Одним из важных с точки зрения безопасности РУ типа ВВЭР процессов является перемешивание теплоносителя и борного раствора, подаваемого в первый контур системой аварийного охлаждения зоны реактора (САОЗ). В местах впрыска воды САОЗ в реакторную установку возникают сложные термогидродинамические процессы, которые оказывают существенное тепловое воздействие на стенки корпуса реактора и влияют на темп подачи охлаждающей воды. С целью изучения данного процесса на кафедре АЭС НИУ «МЭИ» был создан опытный стенд «Смешение Опускной Участок» (СОУ) [1].

В состав стенда СОУ входят рабочий участок, технологическая система (тепло-механическое и электротехническое оборудование), измерительные преобразователи и средства автоматизации, автоматизированная система измерений. Рабочий участок представляет собой вертикальную цилиндрическую емкость атмосферного типа, имитирующую движение теплоносителя в корпусе реактора ВВЭР. Для исследования процесса перемешивания возможно использование двух методик измерения: температурной и солевой.

Стенд СОУ не эксплуатировался более пяти лет, поэтому ближайшей задачей является проведение ревизии оборудования и систем измерения, а также формирование программы исследований. Предлагается в первую очередь провести эксперименты с применением температурной методики как более надежной и отработанной. Будут выполнены две серии экспериментов:

- 1) подача горячей воды (70–80°C) из гидроемкости в объем холодной воды (10–30°C) в рабочем участке;
- 2) подача холодной воды (15–20°C) из гидроемкости в объем горячей воды (60–70°C) в рабочем участке.

В ходе проведения экспериментов предполагается варьировать расход воды из гидроёмкости, расход воды в циркуляционном трубопроводе, уровень воды в рабочем участке.

### **Литература**

1. **Мелихов В. И.** Исследование гидродинамики воды системы аварийного охлаждения активной зоны в опускном участке реактора ВВЭР: отчет о НИР (заключ.) / НИУ «МЭИ», Кафедра атомных электрических станций, 2013. — 123 с.

*Д. В. Финошкина, студ.;  
рук. О. И. Мелихов, д. ф. - м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ПУЗЫРЬКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА РАСПЛАВА С ВОДОЙ ПЕРЕД СТРАТИФИЦИРОВАННЫМ ПАРОВЫМ ВЗРЫВОМ**

Важнейшим вопросом в области обеспечения безопасности АЭС является исследование процессов, сопровождающих тяжелую стадию запроектной аварии, в ходе которой расплавленная активная зона (кориум) с фрагментами конструкционных материалов реактора при определенных условиях может провзаимодействовать с теплоносителем (водой). Взаимодействие горячей жидкости и холодной может привести к возникновению парового взрыва с ростом давления до сотен и тысяч атмосфер. Существенное влияние на развитие процесса оказывает степень предварительного перемешивания расплава с водой — чем перемешивание интенсивнее, тем мощнее взрыв.

Если струя расплава проливается в бассейн с неглубоким уровнем воды, то она, не распадаясь, достигает днища и растекается вод слоем воды. На поверхности раздела расплава с водой вследствие вскипания воды образуется тонкий слой пара. Дальнейшая эволюция образовавшейся трехслойной системы «расплав-пар-вода» будет определяться механизмами развития гидродинамической неустойчивости поверхностей раздела «расплав-пар» и «пар-вода». В частности, размер образующихся пузырьков пара, которые играют важную роль при образовании перемешанной смеси расплава с водой [1], будет определяться длиной волны самого быстрорастущего возмущения поверхности раздела.

В настоящей работе выполнено исследование устойчивости трехслойной системы «расплав-пар-вода», находящейся в поле силы тяжести. В линейном приближении анализировалось развитие малых гармонических возмущений поверхностей раздела на основе системы линеаризованных уравнений гидродинамики [2]. Исследование зависимости декремента возмущения (определяющего скорость роста возмущения) от волнового числа показало, что влияние динамики расплава на развитие возмущений поверхности раздела «пар-вода» несущественно.

### **Литература**

1. Melikhov V. I., Melikhov O. I., Yakush S. E. and Le T. C. Evaluation of energy and impulse generated by superheated steam bubble collapse in subcooled water // Nuclear Engineering and Design, 2020, Vol. 366, 110753.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Том 6. Гидродинамика. М., Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988, 736 с.

Н. Д. Урегани, асп.; рук. В. И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТИ В ИЗОГНУТОМ КАНАЛЕ КОДОМ OPENFOAM

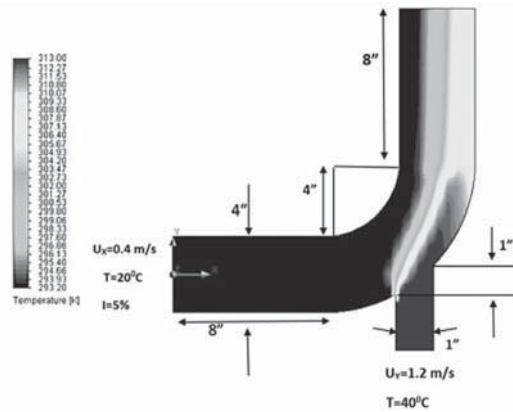


Рис. 1. Распределение температуры в канале

цирование, интегрирование), верхняя структуризация (различные модели турбулентности). Планируется код OpenFOAM адаптировать для анализа процессов перемешивания теплоносителя в проточном тракте реактора ВВЭР.

В данной работе для проверки возможностей кода OpenFOAM рассмотрена задача о смешении потока горячей воды (40°C), поступающей из узкого патрубка в широкий канал, по которому движется холодная вода (20°C). Сначала была построена расчетная сетка, включающая 13 852 ячеек. Расчет проводился с использованием решателя buoyantBoussinesqSimpleFoam, использовалась k-eps модель турбулентности. Было получено существенно неравномерное распределение температуры жидкости в расчетной области, рис. 1. Проведенное затем сопоставление найденного поля температуры с решением, полученным с помощью коммерческого CFD кода FLUENT, показало практически полное совпадение. Тем самым можно сделать вывод о применимости кода OpenFOAM к исследованию задач турбулентного перемешивания.

### Литература

1. **Open FOAM** — режим доступа [www.openFoam.com](http://www.openFoam.com)
2. **Sam Khaniani N.** Simulation of Flow and Heat Transfer with OpenFOAM 3.x. Iran, Tehran: Andishehsara, 2017. — 380 с.

*М. М. Бедретдинов, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. О. И. Мелихов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»);  
О. Е. Степанов, к. т. н., начальник группы теплогидравлики  
РУ с ВВЭР-440, АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»*

## **ВАЛИДАЦИЯ КОДОВ КОРСАР/ГП И СОКРАТ/В1 НА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПО ВЫКИПАНИЮ ТЕПЛОСИТЕЛЯ В ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКЕ**

В 2018 году на кафедре водородной и ядерной энергии Энергетического института Дрезденского технического университета были выполнены экспериментальные исследования выкипания теплоносителя в 140-стержневой тепловыделяющей сборке (ТВС) ALADIN [1]. Эксперименты были проведены для ТВС типа BWR при мощностях каждого из стержней 20, 50, 70 и 100 Вт.

Опытные данные, полученные в этих экспериментах, были использованы для валидации теплогидравлических кодов КОРСАР и СОКРАТ. Для проверки сходимости численного решения было выполнено варьирование размеров расчетных ячеек и определен их размер, при котором численное решение перестает зависеть от размера ячеек.

Выполненные расчеты показали хорошее согласие расчетных результатов с экспериментальными данными по моменту начала оголения стержней и по максимальной температуре оболочки. При этом результаты, полученные с применением кодов, демонстрируют тенденцию к направленности отклонений в консервативную сторону, т.е. дают занижение момента оголения по сравнению с экспериментами.

Интересно отметить, что согласно экспериментальным данным оголение греющей части наступает раньше для экспериментов с меньшей мощностью единичного стержня. Этот эффект, по всей видимости, связан с более высоким парообразованием и ростом физического уровня с увеличением мощности ТВС. Данный эффект находит качественное подтверждение также и результатами расчетов.

Этот эффект необходимо учитывать при анализе безопасности в аварийных режимах с отказом системы охлаждения бассейна выдержки. Путем сравнения с экспериментальными данными определены параметры расчетных моделей для получения наиболее точных результатов.

### **Литература**

1. **C. Partmann, C. Schuster, A. Hurtado.** Experimental investigation of the thermal hydraulics of a spent fuel pool under loss of active heat removal conditions // Nuclear Engineering and Design. 2018. № 330, pp. 480–487.

*Башар Салех, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. О. И. Мелихов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ УДАРНЫХ АДИАБАТ ДЛЯ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ПАРОВЫХ ВЗРЫВОВ**

Техника ударных адиабат позволяет эффективно и достаточно просто оценить ключевые параметры парового взрыва в многофазных системах [1], в том числе и при тяжелых авариях с плавлением активной зоны реакторов АЭС, не прибегая к сложным дифференциальным моделям, требующим не менее сложных численных методов для их реализации. Более того, построение ударных адиабат является необходимым условием для углубленного анализа структуры зоны фрагментации расплава и межфазного взаимодействия в задачах стационарной термической детонации, где на ударных адиабатах задаются граничные условия для дифференциальных уравнений сохранения многофазной смеси.

В настоящей работе с целью анализа процессов межфазного взаимодействия в области парового взрыва в рамках модели стационарной многофазной термической детонации на основе дифференциальных уравнений сохранения излагается методология построения адиабаты Гюгонио и соответствующей ударной адиабаты, с помощью которых задаются граничные условия для системы дифференциальных уравнений. На первом этапе осуществляется построение адиабаты Гюгонио, что предполагает установление скоростного и теплового равновесия многофазной смеси в этой плоскости после завершения межфазного взаимодействия. Зная параметры исходной многофазной смеси и задавая значение давления в равновесной смеси после завершения взаимодействия, определяется удельный объем многофазной смеси в этом состоянии, что позволяет найти соответствующую точку на адиабате Гюгонио. Наклон прямой на плоскости «удельный объем-давление», проходящей через найденную точку на адиабате Гюгонио и точку, характеризующую исходную систему, определяет скорость волны термической детонации. С помощью этой величины вычисляется соответствующая точка на ударной адиабате. Для этого на поверхности разрыва формулируются и решаются уравнения: сохранения массы расплава и массы охладителя (воды), сохранения импульса смеси, сохранения полной энергии расплава и полной энергии охладителя, дополненный условием постоянства температуры расплава на разрыве.

### **Литература**

1. **Sharon A., Bankoff S.G.** On the existence of steady supercritical plane thermal detonations // Int. J. Heat and Mass Transfer. 1981. Vol. 24. P. 1561–1572.

*Абди Хоссейн, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. О. И. Мелихов, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВАЛИДАЦИЯ КОДА STEG-M НА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПО ОБЪЕМНОМУ ГАЗОСОДЕРЖАНИЮ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ПУЧКА СТЕРЖНЕЙ**

Расчетный код STEG-M был разработан для моделирования двухфазной гидродинамики в объеме горизонтального парогенератора ВВЭР. Код основан на трехмерной нестационарной двухжидкостной модели пароводяной смеси, согласно которой для описания течения воды и течения пара используются отдельные поля для плотности, скорости и температуры воды и пара. Межфазные скоростное и термическое взаимодействия пара и воды, а также взаимодействия этих фаз с трубчаткой описываются полуэмпирическими корреляциями. Этот код валидирован на большом объеме опытных данных, тем не менее, потребность в новых валидационных расчетах сохраняется ввиду исключительной сложности теплогидравлических процессов в горизонтальном парогенераторе.

В настоящей работе выполнена валидация кода STEG-M на опытных данных экспериментальных исследований двухфазной гидродинамики адиабатического подъемного водо-воздушного течения через горизонтальный пучок стержней коридорной конфигурации при атмосферном давлении [1]. В экспериментах использовались две конструкции пучка: 1) отношение шага к диаметру стержня  $P/D=1.3$ , 2)  $P/D=1,75$ . В ходе выполнения экспериментов измерялись объемное газосодержание и перепад давления на горизонтальном пучке. В экспериментальном исследовании было выполнено варьирование значения расходного газосодержания.

Для проведения валидационных расчетов была разработана нодализационная схема экспериментальной установки и проведено исследование влияния размера расчетной ячейки на получаемое численное решение. На основании результатов этого исследования был установлен пространственный шаг расчетной ячейки, начиная с которого численное решение не зависит от шага сетки. Именно с этим шагом были проведены валидационные расчеты. В этих расчетах было получено хорошее соответствие численных результатов и опытных данных для всего диапазона параметров.

### **Литература**

1. **Dowlati R., Kawaji M., Chan A. M. C.** Pitch-to-diameter effect on two-phase flow across an in-line tube bundle // *AICHE J.* 1990. Vol. 36, P. 765–772.



*В. Н. Подгорный, асп.; рук. Ю. Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ДВАБ ПРИ АНАЛИЗЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Для успешного развития ядерной энергетики важнейшую роль играет повышение ее безопасности. В это существенный вклад вносит пожарная безопасность. Пожары опасны на объектах ядерной энергетике и могут явиться иницилирующим событием для дальнейшего развития аварии.

В докладе представлен пример анализа пожарной безопасности с учетом факторов неопределенности по параметрам используемых моделей, условий реализации и протекания возгораний. Используется код двухзонного моделирования пожаров, учитывающий особенности транспортабельных (плавающих) ядерных энергетических установок и приводятся его основные характеристики.

Применяется оригинальный подход к динамическому вероятностному анализу безопасности (ДВАБ), базирующийся на алгоритме поиска глобального оптимума, который используется в данной работе для учета неопределенностей, связанных с моделями горения, возможными действиями персонала и изменением режимов работы оборудования. В предлагаемом методе применяется генетический алгоритм для поиска глобального оптимума, основная задача которого заключается в нахождении наиболее опасных сценариев развития пожара в соответствии с адаптивной вариацией параметров в рамках их неопределенностей. Метод демонстрируется для двух вариантов возгорания технологических помещений транспортабельного энергоблока с ядерной энергетической установкой.

Приводятся основные параметры двухзонной модели пожара и ДВАБ. Результаты расчетов по ДВАБ демонстрируют сложный характер взаимодействия различных процессов. Представлены данные анализа влияния основных параметров, проводится сравнение со стандартным вариантом расчета, а также с использованием анализа неопределенности, оценивается условная вероятность наилучшего сценария.

Учет неопределенностей и поиск наиболее опасных сценариев позволили установить такие варианты развития пожара, которые могут привести к существенно более серьезным последствиям, чем те, которые определены при использовании стандартных параметров двухзонных моделей пожара.

*Е. П. Семёнова, студент; О. А. Кузнецова, студент;  
рук. М. М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АЭС НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ (САЭ-ТА)**

Система аварийного энергоснабжения (САЭ) АЭС на основе резервных дизельных станций (РДС) имеет ряд недостатков: перерыв в питании на время запуска, риск незапуска и ряд других, что делает актуальной задачу совершенствования САЭ. Альтернативой, лишенной указанных недостатков, является САЭ на основе тепловых аккумуляторов (САЭ-ТА) [1]. Актуальной является задача совершенствования основного оборудования такой системы, в частности, парогенератора (ПГ).

Особенностью ПГ САЭ-ТА является работа на низких параметрах (давление пара 0,5 МПа), что обуславливает большую разность плотностей пара и воды (около 500 раз), что требует разного числа труб в экономайзерной и испарительной частях и диктует двухкорпусную компоновку (схема «колокольчик», рис. 1), крайне нерациональную с точки зрения компоновки.

Для решения этой проблемы были рассмотрены несколько вариантов однокорпусного исполнения ПГ, в качестве лучшего был предложен вариант «катушка» (рис. 2), позволивший получить аппарат приемлемых массогабаритных параметров (высота/диаметр 3,5/1,9 м).

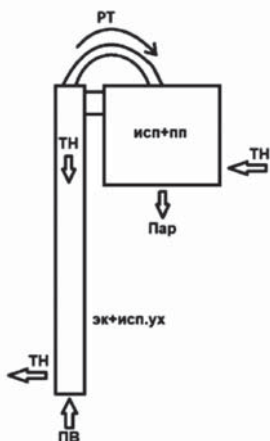


Рис. 1. Схема «колокольчик»

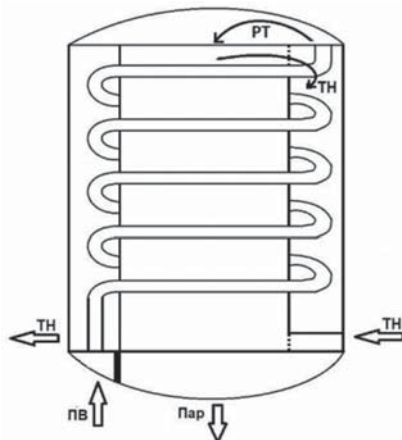


Рис. 2. Схема «катушка»

### **Литература**

1. **Селляхов В. В.** Расчетное обоснование вариантов аварийного энергоснабжения энергоблока ВВЭР-1000 с использованием системы теплового аккумулирования: магистерская диссертация. — НИУ «МЭИ», 2017 г. — 106 с.

*М. А. Полевой, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. А. В. Аникеев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ НАРУШЕНИИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Основная часть системы управления и защиты (СУЗ) — это механические рабочие органы СУЗ. Их также называют органами регулирования СУЗ. Рабочие органы СУЗ — это поглощающие стержни различной формы и длины. По выполняемым функциям их следует делить на компенсирующие, регулирующие и аварийные. Поэтому необходимо знать условия работоспособности поглощающих стержней. Ранее для обоснования работоспособности поглощающего элемента (ПЭЛ) при нарушениях нормальных условий эксплуатации (ННУЭ) и проектных авариях (ПА) в качестве исходных данных принимались температурные условия теплоделяющего элемента. Но, так как в указанных режимах ПЭЛ находится в направляющем канале, то условия охлаждения ТВЭЛ и ПЭЛ могут отличаться. Детализация температурных режимов позволит уточнить состояние ПЭЛ. Определение температур конструкционных и поглощающих материалов ПЭЛ проводилось с использованием верифицированного программного комплекса КОРСАР/ГП [1].

В данной работе мной была составлена расчетная модель для определения температурного состояния поглощающего элемента, состоящая из направляющего канала, твэлов, ПЭЛ и межтвельного пространства. Также был проведен расчет и получены данные, необходимые для анализа температурного состояния ПЭЛа, а именно температура центре поглощающего материала, температура оболочки поглощающего материала, температура теплоносителя в направляющем канале, температура оболочки направляющего канала и также было получено значения для расхода теплоносителя через направляющий канал. Результаты данной работы были использованы для обоснования температурного состояния ПЭЛ для АЭС «Эль-Дабба» [2].

### **Литература**

1. **Васильченко И. Н., Кушманов С. А., Махин В. М.** Задачи исследований пэлов для ВВЭР-1200. ВАНТ, серия «Обеспечение безопасности АЭС», выпуск 25, Реакторные установки с ВВЭР, 2009, с. 44–49.
2. Руководство пользователя. Совершенствование специализированного расчетного кода КОРСАР/ГП в обеспечение проектных расчетов по обоснованию безопасности РУ с ВВЭР, Сосновый Бор, 2006 с. 26–141.

*М. В. Манухин студент;  
рук. К. Н. Проскуряков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АЭС С ВВЭР-1000**

Петля первого контурам АЭС представлена в виде последовательного соединения акустических элементов, являющихся колебательными контурами с сосредоточенными параметрами [1,2].

В данной работе проведено прогнозирование частот акустических стоячих волн (АСВ) генерируемых в акустической системе, образованной трубками поверхности теплообмена и холодным коллектором парогенератора.

При входе теплоносителя в холодный коллектор происходит внезапное расширение потока теплоносителя, приводящее к возникновению отрицательного сопротивления, вихреобразованию и формированию АСВ [2].

Прогнозирование зависимости частоты АСВ проведено при давлении  $P=15$  МПа и значениях температуры  $t=100-300^{\circ}\text{C}$  с шагом  $20^{\circ}\text{C}$ .

Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты генерируемых парогенераторами АСВ находятся в диапазоне от 13 до 46 Гц.

Результаты прогноза сопоставлены с данными измерений спектров вибраций оборудования и пульсаций давления теплоносителя.

Показано, что частоты АСВ в нескольких исследованных режимах совпадают с обратной частотой главных циркуляционных насосов, равной 16,6 Гц, и двукратной частотой 33,2 Гц и могут совпасть с частотами вибрации оборудования первого контура, приведенными в [3], что приводит к увеличению уровня вибраций и уменьшению срока службы оборудования.

Результаты могут быть использованы при проектировании АЭС, поскольку необходимо учитывать зависимость частот АСВ от условий эксплуатации для предотвращения преждевременного выхода оборудования из строя.

### **Литература**

1. **Проскуряков К. Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС. М.: МЭИ, 1999.
2. **Проскуряков К. Н., Аникеев А. В., Афшар И.** Компьютерное моделирование акустических стоячих волн в теплоносителе атомных электростанций 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1421 012041.
3. **Аркадов Г. В., Павелко В. И., Усанов А. И.** Виброшумовая диагностика ВВЭР: М.: Изд-во Энергоатомиздат, 2004 г., 345 с, ISBN 5-283-00787-1.

*В. А. Карманова, студ.;  
рук. К. Н. Проскуряков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС С ВВЭР-1200**

Первый контур АЭС можно представить, как последовательное соединение акустических элементов, которые являются колебательными контурами с сосредоточенными параметрами.

В данной работе представлено прогнозирование частот акустических стоячих волн (АСВ), генерируемых в акустической системе, которая образована теплообменными трубками и холодным коллектором парогенератора.

При входе теплоносителя в холодный коллектор, поток теплоносителя внезапно расширяется, это приводит к появлению отрицательного сопротивления, а также образуются вихри и формируются АСВ.

При давлении  $P=16,2$  МПа и температуре, варьирующейся от  $100^{\circ}\text{C}$  до  $335^{\circ}\text{C}$ , с шагом  $40^{\circ}\text{C}$  проведены расчёты зависимости частоты акустических стоячих волн от температуры.

Выявлено, что частоты генерируемых парогенераторами АСВ находятся в диапазоне от 24 до 56 Гц в рассмотренном интервале температур.

Установлено, что в некоторых исследованных режимах, частоты АСВ близки к частоте колебаний тепловыделяющих сборок ТВС-2М, а именно к шестой изгибной частоте равной 33,5 Гц, при температуре  $308^{\circ}\text{C}$ . При температурах  $313\div 328^{\circ}\text{C}$  частота АСВ близка к пятой изгибной частоте 28,5 Гц. По условиям эксплуатации допускается  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  от номинального значения температуры. При температуре  $334,7^{\circ}\text{C}$  частота АСВ приближается к частоте крутильных колебаний 24 Гц. Совпадение частоты АСВ с частотами вибраций ТВС-2М может привести к увеличению уровня вибраций, и к уменьшению срока службы ТВС.

### **Литература**

1. **Проскуряков К. Н.** Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ЯЭУ. Москва, МЭИ, — 67 с
2. **Проскуряков К. Н., Аникеев А. В., Афшар И.** Компьютерное моделирование акустических стоячих волн в теплоносителе атомных электростанций 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1421 012041. с. 39–49
3. **Макаров В. В., Афанасьев А. В., Матвиенко И. В.** Модальный анализ макетов ТВС реакторов ВВЭР при силовом и кинематическом возбуждении вибрации // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: Сб. докл. V Междунар. науч. техн. конф. (Подольск, 2007 г.). Т. 2. — С. 137–148. «ГИДРОПРЕСС»

*Д. В. Кобец, В. С. Булгаков студ.;  
рук. М. М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ МИНИ-АЭС ПОДВОДНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ**

В настоящее время в мире активно ведутся исследовательские работы по реакторам IV-поколения (Generation-IV) Одним из наиболее перспективных направлений являются модульные мини-АЭС, в т. ч. со сверхкритическими параметрами рабочего тела, отличающиеся своими малыми размерами, высокой мощностью и безопасностью [1].

В работе рассмотрены варианты модульной мини-АЭС подводного размещения мощностью 125 МВт(т) со сверхкритическими циклами Ренкина на воде и Брайтона на углекислом газе со свинцовым быстрым реактором. Свинцовый теплоноситель существенно упрощает схему реактора, делая ненужными меры безопасности, необходимые для других теплоносителей [2].

Были рассмотрены различные варианты конструктивных схем и компоновки парогенераторов (ПГ), позволяющих «вписать» оборудование в цилиндрическую геометрию (внутренний диаметр корпуса 4 м), предложены оптимальные варианты конструкций, проведено их сравнение.

Согласно полученным данным, ПГ на цикле Ренкина получается значительно более компактным и дешевым, однако в целом мини-АЭС на цикле Брайтона более компактна за счет меньших габаритов турбоустановки и меньшего количества оборудования (табл. 1).

Результаты работы могут быть полезны разработчикам новых типов АЭС.

**Таблица 1.** Основные параметры ПГ

<b>Параметры</b>	<b>Цикл Ренкина</b>	<b>SCO<sub>2</sub>-цикл Брайтона</b>
Длина x ширина x высота, м	3,7x3,2x2	2,4x3x3,2
Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	350,2	1845
Число труб	300	4000
Средняя длина трубки, м	22,9	9,9

### **Литература**

1. «Малые Модульные реакторы: гибкое и доступное производство электроэнергии», IAEA <https://www.iaea.org/ru/temy/malye-modulnye-reaktory>
2. Liquid metal coolants for fast reactors cooled by sodium, lead, and lead-bismuth eutectic. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012. — 83 pp.

*Н. М. Сидоров, И. А. Степанов, студенты;  
рук. Е. Д. Федорович, д.т.н., проф. (СПбПУ Петра Великого)*

## **К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ РАДИОУГЛЕРОДА В СОСТАВЕ ОБЛУЧЁННОГО ГРАФИТА УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ**

Одной из ключевых задач при выводе из эксплуатации уран-графитовых реакторов во всём мире является решение вопроса об обращении с облучённым графитом, который в настоящее время остаётся открытым. Данный вид радиоактивных отходов (РАО) образуется в ходе длительного облучения в активной зоне. Значительное количество изотопа углерода  $^{14}\text{C}$  и его длительный период полураспада (порядка 6000 лет) препятствуют захоронению данных материалов в приповерхностных хранилищах РАО и требует его изоляции в пунктах глубинного захоронения. Результаты измерения удельной активности для различных энергоблоков, в т. ч. зарубежных, представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Удельная активность  $^{14}\text{C}$ , содержащегося в графите уран-графитовых реакторов

Источник	[1]	[2]	[3]
Удельная активность, Бк/г	$2.21 \times 10^4$	$1.25 \times 10^5$	$1.2 \times 10^6$

Из представленных данных видно, что удельная активность облучённого графита превышает  $10^4$  Бк/г и колеблется в диапазоне нескольких порядков, что во многом зависит от типа реакторной установки. На облучённый графит с активностью более  $10^4$  Бк/г по изотопу углерода  $^{14}\text{C}$  распространяются требования [4], что ставит задачу по обеспечению безопасности при транспортировании данного вида РАО и ограничению количества транспортируемого содержимого.

### **Литература**

1. **Lorraine McDermott.** Characterisation and Chemical Treatment of Irradiated UK Graphite Waste (NPP Wylfa), 2011, — 175 p.
2. **Бурлаков Е. В., Давыдова Г. Б., Захарова Л. Н., Краюшкин А. В.** Расчеты радиационных характеристик облученного графита реакторов РБМК. НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2017. — 17 с.
3. Nuclear Graphite Waste Management (I-1 reactor), IAEA, Austria, 2001, — 219 p.
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16), 2016. — 174 с.

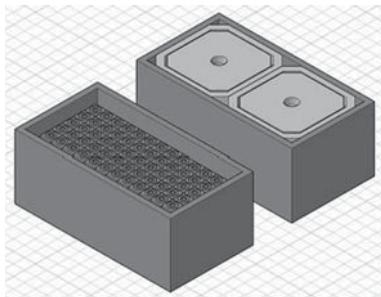
*И. А. Степанов, Н. М. Сидоров, студенты;  
рук. А. В. Ившин, ст. преп. (СПбПУ Петра Великого)*

## **КОНЦЕПЦИЯ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОБЛУЧЁННОГО ГРАФИТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Обследования графитовых кладок уран-графитовых реакторов показывают, что большая часть облучённого графитового замедлителя подлежит глубинному захоронению, т.к. относится ко 2 классу РАО [1] в связи со значительным количеством  $^{14}\text{C}$ . Требования к месту строительства глубинных захоронений РАО гораздо выше, чем при реализации пункта приповерхностного захоронения, поэтому возникает проблема, связанная с транспортировкой извлекаемых материалов к месту окончательной изоляции.

Предлагается осуществлять транспортировку с помощью многоцелевых контейнеров для хранения и транспортировки облучённого графита с применением высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. При проведении расчётов определяющим критерием биологической защиты контейнера для облучённого графита являлись требования к транспортным упаковкам, установленное [2, 3] по мощности дозы и транспортируемому содержанию. При помощи программных систем MicroShield и МСС-3D была определена величина биологической защиты с учётом времени выдержки облучённого графита после останова энергоблока, а также с учётом количества транспортируемых блоков.

По предварительным оценкам, парк транспортных контейнеров должен составлять около 150 упаковок и будет использован для транспортировки графитовых РАО 1 и 2 класса.



**Рис. 1.** Концепция контейнера с загрузкой 120 графитовыми блоками или 2 контейнерами типа НЗК-150-1.5П

### **Литература**

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069, 2012. — 28 с.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16), 2016. — 174 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), 2009. — 86 с.



*А. М. Смирнов, асп.; рук. А. В. Морозов, д.т.н., доцент, профессор  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

## **РАСЧЁТНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СПОТ ВВЭР**

Госкорпорация «Росатом», как одна из лидирующих компаний в мировой атомной энергетике, активно внедряет пассивные системы безопасности в свои новые проекты ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ. Данные системы обеспечивают высокий уровень безопасности АЭС, но, одновременно с этим, увеличивают стоимость энергоблоков, что может в перспективе привести к снижению конкурентоспособности реакторов ВВЭР по сравнению с проектами, разработанными за рубежом. Поэтому в настоящее время достаточно актуальным становится вопрос оптимизации систем безопасности отечественных водо-водяных реакторов [1].

В данной работе предложен один из способов оптимизации конструкции системы пассивного отвода тепла (СПОТ) с целью снижения её стоимости. Он заключается в уменьшении площади воздушных теплообменников СПОТ и одновременном применении водного аэрозоля для их охлаждения с целью интенсификации теплообмена. Проведена расчётная оценка эффективности данного метода применительно к теплообменнику СПОТ с проектными параметрами, используя корреляции, приведенные в [2]. В результате оценки было установлено, что при уменьшении площади трубного пучка теплообменников на 20% и одновременном использовании для их охлаждения водного аэрозоля с долей влаги 0,98% мощностные характеристики оптимизированной СПОТ соответствуют проектным. Кроме того, был рассчитан требуемый объём воды, необходимой для обеспечения работы системы в течение 24 часов.

Результаты проведённой расчётной оценки могут быть использованы для оптимизации системы пассивного отвода тепла при разработке новых проектов реакторных установок типа ВВЭР.

### **Литература**

1. **Смирнов А. М., Морозов А. В.** Оценка эффективности использования водного аэрозоля для охлаждения воздушных теплообменников СПОТ ВВЭР // Сборник докладов XXI Международной конференции молодых специалистов по ядерным энергетическим установкам.: Подольск, 2019, с. 125–133.
2. **Абед А. Н., Щеклеин С. Е., Пахалуев В. М.** Интенсификация теплообмена воздушных теплообменников аварийного расхолаживания и сухих градирен АЭС с использованием водо-воздушного аэрозоля (тумана) // Сборник тезисов докладов к XV Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров»: Обнинск, 2018, с. 85–86.

*В. С. Костарев, И. А. Ширманов, Д. Н. Литвинов, студенты;  
рук. С. Е. Щеклеин, д. т. н., проф.  
(УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕВОГО ПЕРЕГРЕВА ПАРА**

На сегодняшний день атомные и тепловые электрические станции составляют большую часть энергетической системы России — 81,7% по состоянию на 2019 год [1].

Современный уровень машиностроения позволяет рассматривать возможность достижения высоких параметров пара на АЭС с реакторами на тепловых нейтронах без превышения пределов допустимых условий эксплуатации тепло-выделяющих элементов с оболочками из сплавов циркония с помощью перегрева насыщенного пара газовым топливом.

В настоящее время также рассматривается возможность понижения начальных параметров пара, что, позволит понизить давление в первом контуре, что в свою очередь приведет к меньшим затратам на сооружение корпуса реактора, а также позволит увеличить глубину выгорания и продолжительность топливной кампании.

В работе рассматриваются варианты повышения эффективности использования ядерного топлива, а также безопасности АЭС с реакторами типа ВВЭР при использовании в тепловой схеме АЭС начального огневого перегрева пара.

За основу при моделировании была взята тепловая схема АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1200. Для решения задачи повышения эффективности использования ядерного топлива и безопасности авторами было принято решение понизить параметры первого и второго контура данной ядерной энергетической установки исходя из термодинамических соображений.

По результатам моделирования и расчета были определены КПД нетто и электрическая мощность предлагаемой авторами тепловой схемы. Численные значения параметров равны:  $N_э=2048$  МВт,  $\eta_{\text{нетто}}=37,21\%$ . Расчетная глубина выгорания ядерного топлива — 44,70 МВт-сут/кгU.

### **Литература**

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году // Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы». — 2019. — 18 с.

*А. В. Аванов, студент;  
рук. К. Н. Проскуряков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЧАСТОТ АВТОКОЛЕБАНИЙ ГЕНЕРИРУЕМЫХ СИСТЕМОЙ ОТВОДА ПАРА ОТ ПАРОГЕНЕРАТОРА**

Цель данного исследования — расчет частот автоколебаний в системе отвода пара от парогенератора с использованием методики электроакустических аналогий. [1]. Система отвода пара включает себя паровое пространство над пароприемным дырчатым листом и патрубки отвода пара. Эта система обладает самоорганизующимися свойствами, так как представляет из себя резонатор Гельмгольца, в котором акустической емкостью является паровое пространство, а податливостью-пар в отводных патрубках. Для данной системы проведен вариативный расчет частот автоколебаний в зависимости от числа патрубков отвода пара, позволяющий определять диапазон частот колебаний при различном числе патрубков отвода пара. Известно, что при совпадении частот АСВ (акустических стоячих волн) с собственными частотами колебаний оборудования наблюдается повышенной вибрационное на элементы оборудования. [2]. В частности, при числе патрубков равном 8 наблюдается совпадение частоты АСВ с собственной частотой вращения питательного насоса, равной 5.8 Гц.

Приведенные результаты расчета частот автоколебаний указывают на значительное влияния конструкционных параметров оборудования на частоту АСВ. Система акустических элементов парогенератора обладает свойствами, которые не могут быть получены простой суперпозицией акустических свойств составляющих ее элементов. Таким новым свойством — усиления и гашения определенных частот колебаний в оборудовании парогенератора, — обладает комбинация парового пространства с присоединенными к нему трубопроводами отвода пара, представляющая собой сложный резонатор Гельмгольца.

### **Литература**

1. **Проскуряков К. Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС: Учебное пособие по курсу «Диагностика технологических процессов в ЯЭУ», М.: Изд-во МЭИ, 1999. — 68 с. — ISBN 5-7046-0424-2 : 4.40.
2. **Аркадов Г. В., Павелко В. И., Усанов А. И.** Виброшумовая диагностика ВВЭР: М.: Изд-во Энергоатомиздат, 2004 г., стр. 158 ISBN 5-283-00787-1

*С. В. Белявский, асп.; рук. В. Н. Нестеров, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)*

## **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ИЗОТОПА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ТОПЛИВНОЙ КАМПАНИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ КЛТ-40С В РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛАХ**

В последние годы малые модульные реакторы привлекают всё больше внимания мирового сообщества. Габариты таких установок предоставляют возможность их доставки в места без развитой инфраструктуры, а затраты на их строительство существенно ниже по сравнению с энергоблоками большой мощности (>600 МВт). В данный момент реакторная установка малой мощности КЛТ-40С установлена на плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов».

Длина топливной кампании является одной из ключевых экономических характеристик ядерного реактора, определяя частоту загрузки тепловыделяющих сборок в активную зону, так как доставка свежего топлива может быть одной из проблем использования малых модульных реакторов. Цель данной работы — определить эффект от содержания делящегося изотопа в топливе для КЛТ-40С в различных топливных циклах.

Для этого была применена методика многогруппового расчёта, использующая диффузионно-возрастное приближение. В данной методике реализуется решение системы, состоящей из 26 уравнений, описывающих баланс нейтронов в элементарной ячейке. Длительность топливной кампании была получена при помощи решения конечно-разностной системы уравнений, описывающих изменение состава топлива по делящимся и воспроизводящим нуклидам [1].

Полученные результаты показывают, что при содержании делящегося изотопа до 5% лучший результат (170 эффективных суток) показывает композиция  $(U^{238}+Pu^{239})O_2$ . При содержании до 10% лучший результат (520 эфф. сут) принадлежит  $(Th^{232}+U^{233})O_2$ . При содержании до 20% лучший результат (1060 эфф. сут) также принадлежит  $(Th^{232}+U^{233})O_2$ .

### **Литература**

1. **Байбаков Д. Ф., Годовых А. В., Нестеров В. Н.** Влияние нуклидного состава топливной загрузки на размножающие и воспроизводящие свойства активной зоны реакторной установки КЛТ-40С // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 3–6 июня 2015 г. — Томск, 2015. — 2015. — С. 32–33.

*К. А. Яковлев, Н. А. Шаронов студ.;  
рук. К. Н. Проскуряков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЗОНЕ ВЫХОДА ЧЕРЕЗ ПЕРФОРИРОВАННУЮ ОБЕЧАЙКУ В ГОРЯЧУЮ НИТКУ**

При проектировании АЭС с ВВЭР-1000 необходимо исключить возможность возникновения виброакустических резонансов, чтобы предотвратить преждевременный выход оборудования из строя и в последующем возможную аварию. Для выполнения этой задачи необходимо прогнозировать значения собственных частот колебаний теплоносителя в различных условиях эксплуатации. Горячая петля теплоносителя представлена в виде последовательного соединения акустических элементов, являющихся колебательными контурами с сосредоточенными параметрами. Данный участок соответствует резонатору Гельмгольца, в котором акустическая масса горла является эквивалентной акустической массой всех отверстий. Частоты акустических колебаний определены для модели резонатора Гельмгольца, согласно которой вся акустическая масса расположена в горле, а акустическая податливость определяется пространством между перфорированной обечайкой и входом в горячую петлю. Прогнозирование частот акустических волн проведено при давлении  $P=15.9$  МПа и температуре  $t=270^{\circ}\text{C}$ , при диаметре отверстий перфорации  $d_{\text{отв}}=195$  мм.

Также представлен вариантный расчёт частот акустических волн при различных значениях диаметра отверстий:  $d_1=180$  мм;  $d_2=200$  мм;  $d_3=205$  мм. Результаты расчётов показывают, что частоты, генерируемые в рассматриваемом участке реактора, находятся в диапазоне от 115 до 131 Гц. Результаты прогноза сопоставлены с данными измерений спектров вибраций оборудования и пульсаций давления теплоносителя, полученных на АЭС с ВВЭР-1000. При диаметре отверстий  $d_{\text{отв}}=195$  мм показано, что частоты акустических волн совпадают с частотами вибрации оборудования, что приводит к увеличению уровня вибраций.

### **Литература**

1. **Проскуряков К. Н., Аникеев А. В., Афшар И.** Компьютерное моделирование акустических стоячих волн в теплоносителе атомных электростанций [https://reep.mpei.ru/Registration/Pages/members\\_cabinet.aspx](https://reep.mpei.ru/Registration/Pages/members_cabinet.aspx) 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1421 012041. с. 39–49.
2. **К. Н. Проскуряков, А. В. Аникеев, И. Афшар, С. К. Белова, Д. А. Писарева.** Прогнозирование виброакустических резонансов в активных зонах атомных электрических станций с водо-водяным энергетическим реактором. // Вестник МЭИ. № 6. 201 с. 67

*Е. Э. Лукоянов студент;  
рук. К. Н. Проскуряков, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧАСТКА ПЕРВОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000 МЕЖДУ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ДНИЩЕМ ШАХТЫ РЕАКТОРА И ВХОДОМ В ТВС**

В данной работе был рассмотрен участок реактора, расположенный между эллиптическим днищем шахты реактора и входом в ТВС. Нижняя часть шахты состоит из перфорированного эллиптического днища, высота которого 1,8 м с количеством отверстий 1868 шт., и закрепленных в нем 163 стаканов, верхние части которых образуют опорную плиту для установки и дистанционирования кассет активной зоны. Диаметр отверстий днища 0,04 м, высота стакана 0,55 м, температура теплоносителя в номинальном режиме 305°C, расход теплоносителя через реактор при работе четырех ГЦН  $G=23,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Данный участок соответствует резонатору Гельмгольца, в котором акустическая масса горла является эквивалентной акустической массой всех отверстий, а вся акустическая податливость заключена в объеме камеры, в которой расположены опорные стаканы [1].

Прогнозирование спектра частот акустических волн проведено при давлении  $P=16 \text{ МПа}$  и значениях температуры  $t=305^\circ\text{C}$ ,  $290^\circ\text{C}$ ,  $250^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$ ,  $120^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ . Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты акустических волн равняются 110 Гц, 120 Гц, 141 Гц, 176 Гц, 181 Гц, 184 Гц соответственно. Результаты прогноза близки к данным измерений на АЭС с ВВЭР-1000 [2].

При проектировании АЭС с ВВЭР-1000 необходимо исключить возможность возникновения виброакустических резонансов, чтобы предотвратить преждевременный выход оборудования из строя и в последующем возможную аварию, а для этого необходимо прогнозировать значения собственных частот колебаний теплоносителя, в различных условиях эксплуатации и в аварийных режимах.

### **Литература**

1. **Проскуряков К. Н., Аникеев А. В., Афшар И.** Компьютерное моделирование акустических стоячих волн в теплоносителе атомных электростанций 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1421 012041.
2. **Проскуряков К. Н., Аникеев А. В., Афшар И., Белова С. К., Писарева Д. А.** Прогнозирование виброакустических резонансов в активных зонах атомных электрических станций с водо-водяным энергетическим реактором // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 39–49. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-39-49.

И. Афшар, асп.; рук. К. Н. Проскураков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ВВЭР-440

Методики расчета частот акустических стоячих волн (АСВ) в цифровой акустической модели парогенератора (ЦАМПП) основаны на использовании цифровой акустической модели ядерного реактора (ЦАМЯР) [1]. Для разработки этой модели был применен междисциплинарный подход. Представлена оригинальная ЦАМПП состоящая из трёх акустических систем. Акустическая система-1 образована объёмом горячей нитки, заключенным между перфорированной обечайкой шахты реактора и крышкой горячего коллектора парогенератора (ПГ), который является акустической податливостью обладающей массой  $m_1$  и акустической массой системы присоединенных к ней параллельных труб поверхности теплообмена ПГ. Акустическая система-2 образована объёмом холодной нитки между крышкой холодного коллектора ПГ и главным циркуляционным насосом (ГЦН), который является акустической податливостью обладающей массой  $m_2$ , и акустической массой системы присоединенных к ней параллельных труб поверхности теплообмена ПГ. Электрическим аналогом этих резонаторов является последовательное соединение емкости и индуктивности, а механическим аналогом является груз  $m$  на пружине обладающей массой  $m_2$ .

Акустическая система-3 объединяет первую и вторую системы в систему, механическим аналогом которой, является груз, обладающий массой  $m$  с пружинами на обоих концах груза, каждая из которых прикреплена к жёсткой границе и обладает массой и жесткостью  $k$ . Показано, что результаты расчета частот АСВ, генерируемых ЦАМПП, близки к данным измерений, проведенных на реакторе ВВЭР в номинальном и пусковом режимах. Результаты верификации ЦАМПП на АЭС с ВВЭР-440 [2] являются экспериментальным доказательством достоверности их теоретического обоснования и методик прогнозирования генерируемых частот АСВ.

### Литература

1. **Проскураков К. Н.** Создание и верификация акустической модели ядерного реактора. Научное издание «Технологии» № 4 — с. 62–69. DOI 10.18127/j19998465-201904-07, 2019.
2. **Proskuryakov K. N., Anikeev A. V. and Afshar E.** Computer modeling of acoustic standing waves in the coolant of nuclear power plants. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 9, vol. 1421 012041. — pp. 2–10.

*К. В. Степанова, асп.;*  
*рук. В. Е. Степанов, д. ф. - м. н., доц. (СВФУ, Якутск)*

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ПОЛНОСТЬЮ РЕЛЯТИВИСТСКИХ РАСЧЕТОВ ЯДЕРНЫХ РАСПАДОВ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ РАДИЯ-226**

Известно, что последний продукт распада радия-222 — альфа активный полоний-210 с периодом полураспада 22,5 лет — использовался в системах питания космических летательных аппаратов. Следовательно, точные расчеты кинетических энергий распадных частиц радия могут быть использованы при поиске новых малогабаритных источников ядерной энергии, что обосновывает актуальность темы исследования.

Во всем мире в учебниках по ядерной физике используется полурелятивистский метод расчета ядерных реакций, когда используют формулу Эйнштейна для энергии покоя объектов, а для импульсов и кинетических энергий используют формулы ньютоновской механики. Из нерелятивистских формул следует, что отношение кинетических энергий распадных частиц (альфа-частицы и дочернего ядра радона-222) обратно отношению их масс

$$K_{\alpha}/K_D = M_D/M_{\alpha} = 55,5, \quad (1)$$

где  $K_{\alpha}$  — кинетическая энергия альфа-частицы,  $K_D$  — кинетическая энергия дочернего ядра радона-222.

По результатам расчетов по формулам релятивистской механики распада радия получаются другие результаты

$$K_{\alpha}/K_{Rn} = 0,399049, \quad (2)$$

Кинетическая энергия радона  $K_{Rn}$  оказывается в 2,5 раза больше энергии альфа-частицы

$$K_{Rn}/K_{\alpha} = 2,505952. \quad (3)$$

Поделив результат (1) на (2), определяем, что соотношение кинетических энергий альфа-частицы и ядра радона при полурелятивистском методе дает в 139 раз завышенное значение, чем истинное соотношение энергий частиц по результатам (2) и (3).

Следовательно, при вычислениях полурелятивистским методом кинетических энергий распада родительского ядра на альфа-частицу и дочернее ядро получаются неправильные результаты, существенно влияющие на результаты расчетов энерговыделения в ядерных реакторах. Вместо передачи львиной доли энергии альфа-частице происходит перекачка кинетической энергии от альфа-частиц к тяжелым дочерним ядрам.



*Г. А. Игнатъева, асп., В. Е. Степанов, д.ф.-м.н., проф.  
(СВФУ, Якутск)*

## **МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ РАДИЯ В УРАНОВОЙ РУДЕ**

Общеизвестны гамма-спектрометрические методы измерения содержаний радия-226 по фотопику с энергией 186 КэВ. Однако по полной схеме распада радия-226 этот фотопик гамма-излучения сопровождается альфа-распад радия на радон с низким квантовым выходом на распад в 5,4%. Увеличение погрешности измерений на полупроводниковом гамма-спектрометре также обусловлено низкой эффективностью детектора в 30%. Предлагается следующая методика увеличения точности измерения содержаний радия-226 в навесках руды радиохимическими способами. Навеска руды с известной массой настаивается в герметичном сосуде с водой. За 12 дней практически достигается вековое равновесие между радием и радоном-222, когда их активности совпадают. Затем вода с растворенным в ней радоном сливается и содержания радона в пробах измеряется на жидкостном сцинтилляционном спектрометре Hidex SL-300. Эффективность измерений здесь равна 100%, регистрируется каждый альфа-распад. После 30 дней измерений остается активность полония-210, продукта распада радона с периодом полураспада в 22,5 лет. Расчетными методами результатов измерений на жидкостном сцинтилляционном спектрометре вычисляются начальная активность радона, равная активности навески радия в водном растворе и удельная активность радия в руде.

Применением нового способа измерения содержаний радия установлены высокие содержания радия в дренажных рассолах алмазоносной трубки «Удачная» [1]. На запатентованном криогенном концентраторе радона можно получать высокие концентрации радона [2].

Таким образом, новый метод контроля содержаний радона и радия-226 может быть использован для поиска состава топлива на сырье из подземных рассолов и сухой урановой руды для реакторных установок атомных электростанций.

### **Литература**

1. Степанов В. Е., Игнатъева Г. А., Осипов В. Ю., Далбаева Е. А. Исследование проблемы дальней миграции трития из полости подземного ядерного взрыва «Кристалл» // Радиохимия. 2017. Т. 59. № 3, с. 285–288
2. Степанов В. Е., Христофорова С. Е. Патент РФ RU 2650177 С1, 30.06.2017. Способ криогенного концентрирования радона. // Опубликовано: 11.04.2018 Бюл. № 11. — 9 с.: ил.

*А. А. Баринов асп; И. А. Коновалов, А. А. Чесноков, М. А. Макаров, студенты; рук. А. Е. Хробостов к.т.н., доц., директор ИЯЭиТФ (НГТУ, Н. Новгород)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ СМЕШЕНИИ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ПОТОКОВ**

Смешение неизотермических потоков является причиной различных негативных факторов, связанных с эксплуатацией ядерных установок с жидкими теплоносителями, в частности таких как термическая усталость конструкционных материалов ЯЭУ. Возникающая в ряде случаев стратификация турбулентного потока является сложным физическим явлением, от корректности моделирования которого зависит точность прогнозирования ресурса оборудования.

В работе проведена серия экспериментов по исследованию стратифицированного течения, образуемого смешением спутных турбулентных потоков. Эксперименты проводились при помощи кондуктометрических [1] и температурных датчиков, расположенных в нескольких сечениях исследуемой модели, что позволило получить пространственную картину распределения проводимостей и температур. Экспериментальная модель представляет собой канал квадратного сечения, в котором происходит смешение потоков с различными плотностями, обусловленными разницей температур, и различными удельными проводимостями, создаваемыми гидродинамически пассивной примесью. Режимные параметры выбраны близкими к реализованным в международном эксперименте GEMIX [2], для обеспечения сравнимости полученных результатов.

Экспериментальные данные включают в себя осредненные профили относительных концентраций, а также длительные реализации локальных температур и концентраций в точках измерения. Обработка экспериментальных данных позволила получить динамические оценки реализаций сигналов, позволяющие определить спектр энергетических пульсаций потока, корреляционные функции, а также статистические характеристики.

### **Литература**

1. **Prasser H.M.** A new electrode-mesh tomograph for gas-liquid flows / H.M. Prasser, A. Bottger, J. Zschau // Flow Meas. Instrum. — 1998. — No. 9. — P. 111–119
2. **Fokken J.** Stably stratified isokinetic turbulent mixing layers: comparison of PIV-measurements and numerical calculations / J. Fokken, R. Kapulla, S. Kuhn [etc.] // Fachtagung “Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik” — 2009. — P. 8–10.

*А. А. Баринов асп.; И. А. Коновалов, А. А. Чесноков, М. А. Макаров, студенты; рук. А. Е. Хробостов к.т.н., доц., директор ИЯЭиТФ (НГТУ, Н. Новгород)*

## **МЕТОД ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНДУКТОМЕТРОВ**

В исследовательской практике для изучения характеристик турбулентных потоков широкое распространение получили трассерные методы измерений. Основное требование таких методов — наличие некоторой пассивной скалярной функции, конвективно переносимой вместе с текущей средой. При этом измерительной системой регистрируются пульсации переносимой с потоком скалярной величины.

Для проведения исследований была использована кондуктометрическая измерительная система: пространственные кондуктометрические датчики сетчатой конструкции [1] и измерительный комплекс ЛАД-36 [2]. В качестве примеси использовалась незначительная концентрация раствора соли ( $\text{NaCl}$  или  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Минимальный линейный масштаб турбулентности, регистрируемый датчиком, рассматривался как мера их разрешающей способности. Исследования проводились в экспериментальной модели, представляющей собой канал квадратного сечения  $50 \times 50$  мм, в котором происходит смешение спутных потоков с различными удельными проводимостями, создаваемыми примесью.

В работе представлены результаты серии экспериментов, изложен порядок проведения исследований на лабораторном стенде, проведена обработка сигналов пространственных датчиков, а также изложена методика оценки макро и микро-масштабов турбулентных структур в потоке. Полученные оценки пространственных и временных масштабов согласуются по порядку со значениями, рассчитанными теоретически.

Результаты работы могут быть в дальнейшем использованы для оценки разрешающей способности чувствительных элементов измерительных систем, использующих трассерные методы измерений — минимальный линейный размер вихрей, регистрируемых датчиков.

### **Литература**

1. **Prasser H. M.** A new electrode-mesh tomograph for gas-liquid flows / H. M. Prasser, A. Bottger, J. Zschau // Flow Meas. Instrum. — 1998. — No. 9. — P. 111-119
2. **Баринов А. А.** Особенности применения пространственных кондуктометрических датчиков при моделировании смешения потоков теплоносителя в элементах оборудования ядерных энергетических установок / А. А. Баринов [и др.] // Приборы и методы измерений. — 2016. — Т. 7. — № 3. — с 247-255

*А. А. Баринов асп; И. А. Коновалов, А. А. Чесноков, М. А. Макаров, С. В. Исаева, студенты; рук. А. Е. Хробостов к.т.н., доц., директор ИЯЭиТФ (НГТУ, Н. Новгород)*

## **ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ТРАНСПОРТА ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ КОРРЕЛЯЦИОННОМ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ ПОТОКА**

В энергетическом машиностроении широко известен метод корреляционного определения скорости потока. Адаптация данного метода с применением пространственных кондуктометрических систем позволяет проводить измерения расхода теплоносителя при исследованиях гидродинамических процессов в масштабных моделях ядерных энергетических установок. Идеология данного метода заключается в определении максимума взаимной корреляции измерительных сигналов кондуктометрических датчиков как времени прохождения турбулентных структур в потоке между ними. При этом встает вопрос об оценке погрешности определения максимума взаимно-корреляционной функции (ВКФ) под влиянием присутствующих в регистрируемом сигнале помех.

В работе представлены результаты серии экспериментов, направленных на оценку доверительного интервала положения максимума ВКФ при корреляционном измерении расхода с применением пространственных кондуктометрических датчиков. Экспериментальные данные включают в себя длительные реализации пульсаций удельной электропроводимости в зоне смешения экспериментального участка, представляющего собой канал квадратного сечения. В ходе анализа экспериментальных определялись ВКФ сигналов, оценки спектральной плотности мощности, осредненные по методу модифицированной периодограммы Уэлча [1], а также статистические данные.

Оценка доверительного интервала положения максимума ВКФ производилась согласно методике, изложенной в [2]. На первом этапе, на основе анализа энергетического спектра пульсаций УЭП в зоне смешения определялась ширина полосы пропускания полезного сигнала  $B$ , затем производилась оценка сигнал/шум ( $M/S$  и  $N/S$ ) для первого и второго датчиков соответственно. На основе полученных оценок определялся 95% доверительный интервал.

### **Литература**

1. **Снегирёв А. Ю.**, Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учебное пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с
2. **Бендат Дж., Пирсол А.** Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 540 с., ил. ISBN 5-03-001071-8

*А. А. Баринов, асп.; И. А. Коновалов, А. А. Чесноков, М. А. Макаров, С. В. Исаева, студенты; рук. А. Е. Хробостов, к.т.н., доц., директор ИЯЭиТФ (НГТУ им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСРЕДНЕННОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Мировой рынок атомной энергетики проходит стадию трансформации. Большое внимание уделяется вопросу надежности и безопасности энергетических систем. Одним из важных показателей работы реакторной установки является расход теплоносителя.

На современном этапе развития энергетики известен корреляционный метод измерения расхода теплоносителя. В его основе лежит анализ показаний детекторов гамма-излучения. Но для лабораторных исследований данный метод не применим из-за отсутствия необходимых радионуклидов в потоке.

Альтернативным решением для экспериментальных исследований является построение измерительной системы на базе применения сетчатых кондуктометрических датчиков [1].

Ввиду этого, целью работы являлась отработка корреляционного метода измерения расхода теплоносителя с применением кондуктометрических систем. Измерения проводились при помощи метода кондуктометрии в квадратном канале с использованием двух последовательно установленных СКД с разрешением 8×8 ячеек [2]. За основу используемого метода измерения расхода было принято определение времени транспорта турбулентных пульсаций потока рабочей среды между двумя датчиками. При этом используется алгоритм вычисления положения максимума взаимно корреляционной функции сигнала в измерительных ячейках кондуктометрических датчиков.

Результаты измерений дают приемлемое согласие с показаниями штатных расходомеров для характерных турбулентных режимов течения (погрешность измерения скорости потока при помощи кондуктометров составляет менее 5%).

### **Литература**

1. **Prasser H. M.** A new electrode-mesh tomograph for gas-liquid flows / H. M. Prasser, A. Bottger, J. Zschau // Flow Meas. Instrum. — 1998. — No. 9. — P. 111–119
2. **Хробостов А. Е.** Исследование гидродинамики стратифицированных турбулентных потоков для валидации расчетных подходов к моделированию тепловых процессов в оборудовании ЯЭУ / А. Е. Хробостов, М. А. Легчанов, Д. Н. Солнцев, А. А. Баринов, И. А. Коновалов, А. А. Чесноков, М. А. Макаров // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева / НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2019 № 3 (126) — 187 с.

*А. Г. Зубков, студент; рук-ли В. М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),  
Д. А. Олексюк, к.т.н. (НИЦ «Курчатовский институт»)*

## **О ВЫРАВНИВАНИИ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР НА ВЫХОДЕ ИЗ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР СКДИ**

Концепция ядерного реактора ВВЭР-СКДИ (со сверхкритическим давлением и интегральной компоновкой), сформулированная в НИЦ «Курчатовский институт», предполагает создание активной зоны с бесчехловыми твэлами и самопрофилированием расхода теплоносителя по радиусу. При температуре теплоносителя на входе и выходе активной зоны 375°C и 395°C номинальная мощность реактора в начале кампании определена равной 670 МВт (эл.). В качестве одного из недостатков этого реактора его оппонентами отмечается недостаточно высокая мощность.

В работе [1] предложен способ повышения мощности, заключающийся в разделении активной зоны на две части по радиусу с одинаковыми максимальными температурами оболочек твэлов в обеих частях, равными максимальной температуре в исходном варианте. Это достигается установлением соответствующих расходов теплоносителя посредством дросселирования потока в периферийной части активной зоны. Суммарный расход теплоносителя при этом не изменяется по сравнению с исходным вариантом, а средняя температура на выходе активной зоны повышается.

В данной работе предлагается температуры теплоносителя и оболочек твэлов снизить таким образом, чтобы средняя температура на выходе и мощность реактора остались прежними. Такое решение облегчит выбор или разработку конструкционного материала для оболочек.

По мнению автора, строительству энергоблоков с серийными ВВЭР-СКДИ должны предшествовать обязательные исследования различных процессов и создание опытно-промышленного образца с уменьшенной мощностью до уровня 100–200 МВт (эл.). Таким образом, актуальной становится задача теплофизического расчета АЗ реактора на более низкий уровень тепловой мощности с целью выравнивания температурного поля на выходе из АЗ. Анализ методов проведения подобного расчета, а также существующих теплофизических кодов, способных адекватно описывать теплофизические процессы в АЗ СКД реакторов посвящена данная работа.

### **Литература**

1. **Силин В. А., Зорин В. М., Хлопов Р. А.** Возможность повышения мощности интегрального водоохлаждаемого реактора сверхкритического давления // Вестник МЭИ. 2016. № 5. С. 25–29.

## **Секция 40**

# **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*

А. А. Глебова, студ.; рук. А. В. Жиркин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО БЛАНКЕТА ТИН

Создание опытно-промышленной установки ТИН является одним из вариантов решения проблем ядерной энергетики. В НИУ «МЭИ» и НИЦ КИ намечена комплексная программа экспериментальных и расчетно-теоретических исследований в обеспечение участия России в проекте сооружения реактора ТИН. Выбор теплоносителя blankets и первой стенки со свойствами, удовлетворяющими требованиям ТИН, является актуальной проблемой в разработке установки. Важную роль в решении этой задачи играет теплофизический расчет blankets.

Исследование проводилось расчетным путем в среде Ansys Mechanical с помощью метода конечных элементов.

Проведен анализ распределения температуры по длине оболочки твэла (рис. 1) и в устройстве тепловыделяющей сборки гибридного blankets ТИН для трансмутации минорных актинидов отработанного ядерного топлива (МА ОЯТ) с теплоносителем из пароводяной смеси при известном внутреннем тепловыделении при различных давлениях. Результаты работы сопоставлены с аналогичными данными, полученными при тех же условиях другими авторами.

Данная работа выполнена в рамках проектирования установки ТИН.

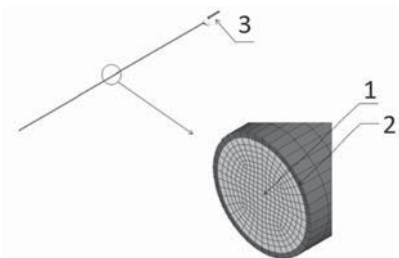


Рис. 1. Модель для теплового расчета:

1 — топливо (смесь МА ОЯТ);

2 — оболочка твэла ТВС;

3 — вход в топливную часть тракта ТВС

### Литература

1. А. В. Размеров, В. Е. Попов, О. А. Сысоева, А. Г. Сысоев, Е. В. Яковлева. Разработка blankets и топливного цикла ТИН, этап 2019 года (заключительный). Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по договору от 15.10.2019 № 09-03/19/223/76/163-19до.



*Р. П. Хвостов*<sup>1, 2</sup>, студ.; *рук. А. В. Голубева*<sup>2</sup>, к. ф. - м. н.,  
(<sup>1</sup> — НИУ «МЭИ», <sup>2</sup> — НИЦ Курчатовский институт)

## **ПРОЕКТ ГДП-СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ГАЗОМ**

Термоядерный синтез — источник энергии, который (пока в теории) может избавить мир от энергетической зависимости от ископаемых источников топлива. В основе процесса лежит синтез атомных ядер из более лёгких с выделением энергии. Реакцию синтеза можно осуществить в горячей плазме, где частицы двигаются с большими скоростями. Термоядерный реактор ИТЭР будет работать на смеси D-T. Для обеспечения радиационной безопасности термоядерного реактора необходимо точно предсказывать и, насколько возможно, уменьшить потоки трития за пределы камеры. Для этого нужно знать параметры переноса водорода через материалы термоядерного реактора. В газовом эксперименте проще обеспечить стабильность условий при взаимодействии водорода с материалами. Поэтому в НИЦ «Курчатовский институт» был создан стенд, для исследования проницаемости мембран при взаимодействии с газообразным дейтерием.

Исследуемая мембрана разделяет два сверхвысоковакуумных объёма — камеру экспозиции и камеру регистрации. В камеру экспозиции напускается газ до фиксированного давления в диапазоне от 10 до 105 Па. В камере регистрации поддерживается высокий вакуум. Температура проведения эксперимента — до 700°C. Поток дейтерия, проходящий сквозь мембрану, измеряется в камере регистрации при помощи квадрупольного масс-спектрометра, откалиброванного по потоку газа. В настоящее время проводятся тестовые эксперименты с аустенитной сталью 12X18 H10T.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (29.09.2020 № 1953)

*В. И. Кошлань, студ. (МЭИ); рук. С. С. Ананьев, к. ф.-м. н., в. н. с.  
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

## **СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТЕРМОЯДЕРНОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ И ЕЁ ВЕРИФИКАЦИЯ**

Одним из способов решения существующей задачи расширенного производства нейтронов для задач ядерной энергетики может быть совместное использование реакций синтеза и деления в одной установке. При этом в реакции деления будут получены термоядерные нейтроны, которые могут быть использованы для эффективного деления тяжелых элементов. Проект термоядерного источника нейтронов (ТИН) является пилотным проектом РФ по созданию гибридной установки, разработка которого ведется НИЦ «Курчатовский институт» с 2007 года.

Одной из основных систем гибридного реактора на базе токамака мощностью синтеза 5–50 МВт [1] является термоядерный топливный цикл (ТЦ) [2], который обеспечивает циркуляцию топливных изотопов — дейтерия и трития. Для решения данной задачи используется компьютерная модель ТЦ «FC-FNS», обеспечивающая моделирование стационарных потоков изотопов во всех системах ТЦ. Тем не менее, открытым вопросом для моделирования остаются режимы запуска установки и нестационарных режимов работы систем ТЦ. Для этого предлагается создать упрощенную модель ТЦ.

В данной работе представлена созданная модель ТЦ термоядерного реактора на основе токамака, проведена её верификация и получен расчет временных зависимостей потоков топливного изотопа трития и его накопление в системах ТЦ для параметров импульсной установки [3], модель ТЦ дополнена с учетом особенностей ТИН. Дальнейшая работа предусматривает моделирование стационарного сценария работы установки и верификацию модели, а также моделирование нестационарных сценариев ТЦ ТИН. Работа поддержана НИЦ «Курчатовский институт» (28.09.2020 № 1934а).

### **Литература**

1. Kuteev B. V. et al. // Nucl. Fusion, 2017, vol. 57, p. 076039.
2. С. С. Ананьев и др. // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2014, т. 37, вып. 4
3. Abdou M. A. et al. // Fusion Technology, 9, 250 (1986)

*Д. С. Дугин, студ.;*  
*рук. Н. П. Бобырь, н. с. (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ДЕЙТЕРИЯ В СПЛАВЕ CuCrZr МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Важным фактором, влияющим на оборот топлива (смеси изотопов водорода — дейтерия и трития) в термоядерной установке является его захват в материалы установки.

Накопление изотопов водорода в объеме материала и последующая десорбция из него в процессе работы реактора в значительной степени зависят от параметров ловушек для изотопов водорода. Для определения этих параметров часто используют метод термодесорбционной спектроскопии (ТДС).

В настоящем исследовании экспериментально получены спектры потоков десорбции дейтерийсодержащих газов  $M_3$ ,  $M_4$ ,  $M_{19}$ ,  $M_{20}$  масс из бронзы — сплава CuCrZr. При проведении исследования были рассмотрены сплавы отожённой и неотожённой бронзы, насыщенные в дейтерии при температурах: 300, 350, 400, 450 и 500°C. Актуальность выбранного материала подтверждается тем, что сплав CuCrZr используется в конструкции первой стенки в проекте международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР.

Полученные экспериментальные спектры десорбции отожённой и неотожённой бронзы, показывают, что в случае отожённой бронзы имеется сдвиг в область более высоких температур, увеличенный захват дейтерия, а также наличие дополнительного пика в спектрах десорбции при насыщении в дейтерии при различных температурах при сравнении с неотожённой бронзой [1].

Показано что изменения в структуре материала могут увеличить степень накопления изотопов водорода при работе термоядерного реактора.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 29.09.2020 № 1953).

### **Литература**

1. Thi Nguyen L. A., Lee S., Kim J., Noh S. J., Lee S. K., Park M. C., Shu W., Pitcher S., Torcy D., Guillermain D. Desorption dynamics of deuterium in CuCrZr Journal of Nuclear Materials. 2017. T. 496. C. 117–123.

*Д. Н. Селяков, асп.; М. А. Семенов-Шефов, студ.;  
рук В. П. Афанасьев д.ф-м.н. проф (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ МОНОСЛОЙНЫХ И СУБМОНОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДАМИ ТРАДИЦИОННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

В рамках Рентгеновской Фотоэлектронной Спектроскопии (РФЭС), разработан метод определения толщин покрытий на основе измерения интенсивностей характерных пиков подложки и покрытия [1]. Расшифровка сигнала основана на модели, в которой предполагается наличие плоскопараллельного покрытия на подложке [2]:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{F_2 l_{in1} n_2}{F_1 l_{in2} n_1} [\exp(d/l_{in2} \cos \theta) - 1], \quad (1)$$

где  $Q_{1,2}$  — сигналы подложки и покрытия,  $F_{1,2}$  — дифференциальное сечение фотоионизации,  $l_{in1,2}$  — средняя длина пробега между неупругими соударениями,  $n_{1,2}$  — атомная плотность,  $\theta$  — угол вылета фотоэлектрона,  $d$  — толщина покрытия.

Рассмотрим случай, когда покрытие представляет не плоский однородный слой, а островковую структуру. Такая ситуация возникает, когда атомам покрытия энергетически выгодно образовывать кластеры [3]. В простейшей модели, когда половина поверхности покрыта параллелограммами толщиной  $2d$ , относительная интенсивность пиков будет определяться:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{F_2 l_{in1} n_2}{F_1 l_{in2} n_1} \left[ \frac{1 - \exp(-2d/l_{in2} \cos \theta)}{1 + \exp(-2d/l_{in2} \cos \theta)} \right], \quad (2)$$

Для установления факта островкового покрытия необходимо проводить измерения с угловым разрешением. Наличие островков будет характеризоваться уменьшением определяемой на основе (1) толщины слоя с приближением угла визирования к скользящему. Простейшая модель островкового покрытия позволяет качественно интерпретировать этот эффект. Толщина эквивалентного однородного слоя определяется при визировании РФЭС сигнала под углами, превышающими критический угол, определяемый морфологией островков.

### **Литература**

1. **Hofmann S.** Auger- and X-Ray Photoelectron Spectroscopy in Materials Science / S. Hofmann. — Springer, 528 p.
2. **Afanas'ev V.P., Efremenko D.S., Kaplya P.S.** Determination of the Thickness of Nanofilms Using X-Ray Photoelectron Spectroscopy // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2018, Vol. 12, No. 6, pp. 1182–1189.
3. **Б. М. Смирнов** // УФН, т. 187, стр. 1329–1364.

*Р. С. Чеботарев, асп. (НИУ «МЭИ»), рук. А. В. Тимофеев, д. ф. - м. н.,  
г. н. с. (НИЦ «Курчатовский институт»)*

## **ОБ ИЦР-НАГРЕВЕ ПЛАЗМЫ ПО МЕТОДУ МАГНИТНОГО БЕРЕГА**

Ионный циклотронный резонансный нагрев (ИЦР-нагрев) играет ключевую роль в таких применениях плазмы как плазменная переработка отработавшего ядерного топлива, ИЦР-разделение изотопов, а также космический плазменный двигатель VASIMR. Однако в результате явления альфвеновского резонанса используемые для нагрева ионной компоненты плазмы альфвеновские колебания могут эффективно трансформироваться в нижнегибридные, обладающие значительной продольной составляющей электрического поля, что, в свою очередь, может привести к преимущественному нагреву электронов, но не ионов.

Для установления ведущего механизма нагрева, реализующегося в условиях VASIMR, должен быть проведён двумерный анализ ИЦР-нагрева, — необходимо учитывать как продольную неоднородность магнитного поля, инициирующую ИЦР-нагрев по методу магнитного берега, так и естественную поперечную неоднородность плотности плазмы, предопределяющую явление альфвеновского резонанса.

В известных работах рассмотрены только отдельные взаимоисключающие приближения продольной неоднородности поля при поперечной однородности плотности, и наоборот [1, 2]; одна работа учитывает двумерную неоднородность задачи, но рассматривает унимодальный нагрев [3].

В работе предпринимается попытка рассмотрения модели, учитывающей неоднородность в обоих направлениях и принимающей в качестве источника нагрева модель реальной винтовой антенны. Установлено, что при значениях плотности плазмы  $n_0 \sim 10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , а также выбранных конфигурациях антенны и магнитного поля происходит преимущественный нагрев ионной компоненты плазмы. Выявлена обратная зависимость между электронной температурой и поглощаемой электронами долей энергии.

### **Литература**

1. **Bering E. A.** et al. Observations of Single-Pass Ion Cyclotron Heating on a Trans-Sonic Flowing Plasma // *Phys. of Plasmas*. 2010. V. 17. No 4.
2. **Тимофеев А. В.** О ВЧ-нагреве неоднородной столкновительной плазмы в условиях ИЦР // *Физика плазмы*. 2015. Т. 41, № 11.
3. **Piotrowitz P. A.** et al. Computational Investigation of Ion Cyclotron Heating on Proto-MPEX // *Phys. of Plasmas*. 2019. V. 26. No 3.

*И. В. Ланье, студ.; рук. А. В. Жиркин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

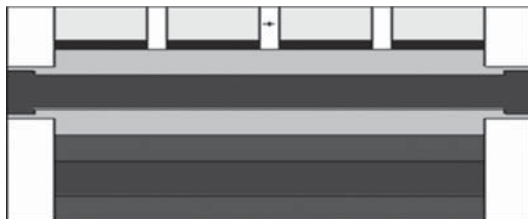
## **ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА КОМПОНЕНТЫ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК ДЕМО И ДЕМО-ТИН**

Для реализации проектов ДЕМО и ДЕМО-ТИН необходимо оценить влияние термоядерных нейтронов на компоненты первой стенки. Проектирование элементов первой стенки, их геометрии, подбор материалов должно происходить тщательнейшим образом [1]. Из-за отсутствия реальных термоядерных установок исследование можно проводить только с помощью компьютерного моделирования эксперимента.

Компьютерное моделирование выполнялось методом Монте-Карло. Использовалась программа MCNP-4 с сечениями из файлов FENDL-2 и ENDF/B-6, а также с сечениями для расчета радиационных повреждений.

Вид расчетной модели первой стенки установок показан на рис. Были рассмотрены два варианта источника нейтронов: источник Д-Т нейтронов термоядерной плазмы с энергетическим спектром в виде распределения Гаусса и источник с энергетическим спектром, формирующимся на поверхности гибридного термоядерного источника нейтронов ДЕМО-ТИН.

Были получены энергетические распределения плотности потока нейтронов в материалах модели, проведена оценка скорости ядерных реакций, приводящих к накоплению примесей, оценка энерговыделения и радиационных повреждений. Результаты работы будут использованы при проектировании установок ДЕМО и ДЕМО-ТИН.



**Рис. 1.** Расчетная модель первой стенки установок ДЕМО и ДЕМО-ТИН

### **Литература**

1. **Алексеев А. В., Беляков В. А.** Основы проектирования магнитных термоядерных реакторов. Санкт-Петербург, 2016. — 604 с.

*Н. В. Зайцева, студ.; рук. Д. О. Дуников, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В МЕТАЛЛОГИДРИДНОМ ЭЛЕКТРОДЕ**

Металлогидридный способ хранения водорода является уникальным, так как включает в себя возможность достижения экстремально высоких объемных плотностей атомов водорода в матрице металла, широкий диапазон рабочих давлений и температур, селективность процессов поглощения/выделения, значительные изменения физических свойств металла при его насыщении водородом, каталитическую активность и целый ряд других нетривиальных особенностей.

Ni-MH аккумуляторы обладают рядом преимуществ для практического применения, такими как высокая удельная плотность хранимой энергии, устойчивость к перезаряду/перезаряду, быстрой кинетикой заряд-разряда, экологичностью и безопасностью. Основным компонентом Ni-MH аккумуляторов, влияющим на их характеристики, является водородпоглощающий материал, используемый в качестве анода. Интерметаллические соединения способны обратимо поглощать и выделять водород при нормальных условиях.

Наряду с водородопоглощающими свойствами интерметаллических соединений большое значение для улучшения электрохимических свойств электродов имеют параметры приготовления металлогидридных электродов: размер частиц МГ порошка, электропроводящие материалы и их массовое соотношение с активным материалом, использование связующих компонентов, параметры прессования рабочих электродов.

Основной электропроводящей добавкой является никель, благодаря своей высокой электрокаталитической активности.

В работе был создан металлогидридный электрод, произведена его активация, проведено исследование процессов тепломассопереноса внутри него на основе измерений, полученных с помощью многоканального потенциостата- гальваностата «P-20X8».

И. М. Попов, студ.; рук. И. А. Моралев, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

## СТОХАСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ГИДРОДИНАМИКЕ ПЛАЗМЕННЫХ АКТУАТОРОВ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Плазменные актуаторы на основе диэлектрического барьерного разряда рассматриваются в качестве одних из перспективных устройств для управления ламинарно-турбулентным переходом. При этом сама работа разряда может приводить к широкополосному возбуждению пограничного слоя [1]. Механизм стохастического возбуждения связан с тем, что диэлектрический барьерный разряд представляется совокупностью отдельных микрозарядов, блуждающих по кромке коронирующего электрода от периода к периоду питающего напряжения.

Работа посвящена исследованию характеристик плазменных актуаторов, предназначенных для внесения в пограничный слой искусственных возмущений с целью затягивания ламинарно-турбулентного перехода. Основной целью работы является исследование стохастических процессов в плазменном актуаторе и оценка их влияния на шумовую составляющую спектра пульсаций скорости в пограничном слое.

Исследовано влияние стохастических процессов в плазменном актуаторе на генерацию волны ТШ в двумерном пограничном слое. Исследована реакция пограничного слоя на импульсное возбуждение локализованной группой микрозарядов в барьерном разряде.

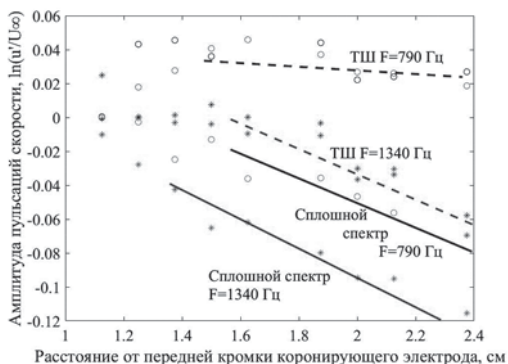


Рис. 1. Эволюция волн ТШ и широкополосных возмущений, для различных частотных диапазонов

### Литература

1. **Kogelschatz U.**, “Filamentary, Patterned, and Diffuse Barrier Discharges,” IEEE Trans. Plasma Sci. — 2002 — изд. 30 — № 4 — С. 1400–1408.



*В. А. Ячук студ.; Д. С. Лукьянцев асп.;  
рук. А. В. Лубенченко, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МОНТЕ-КАРЛО**

На сегодняшний день для анализа поверхности в большинстве случаев применяют рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (РФЭС). Это неразрушающий метод анализа поверхности. Также возможен анализ по глубине образца. С помощью этого метода можно понять структуру образцов сложной морфологии [1]. Эти и другие факторы, такие как: возможность использовать для анализа угловое разрешение, определение толщин различных слоёв и другие; делают РФЭС одним из самых привлекательных методов анализа поверхности. Поэтому наибольший интерес представляет имитационное моделирование спектров, полученных при использовании РФЭС [2].

Моделирование рассеяния фотоэлектронов в твердых телах проводилось с помощью локальной оценки Монте-Карло [3]. В расчетах использовался матричный алгоритм [4]. Данный алгоритм позволил ускорить расчеты на десятки часов.

В алгоритме программы была предложена следующая последовательность моделирования рассеяния фотоэлектронов в веществе. На первом шаге моделируется тип рассеяния. В случае  $n$ -кратного неупругого рассеяния индикатриса рассеяния находится с помощью свертки  $n-1$  (кратной) и  $n=0$  индикатрис [5]. В случае упругого рассеяния фиксируем интенсивность сигнала на детекторе. В алгоритме учитываются характеристики рассеяния как упругого, так и неупругого.

В результате расчета были получены фотоэлектронные спектры.

### **Литература**

1. **Jablonski A.** Elastic photoelectron scattering effects in the XPS analysis of stratified samples // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2012. — Т. 45. — № 31. — С. 315302.
2. **Lubchenko A. V.** et al. XPS study of multilayer multicomponent films // Applied Surface Science. — 2018. — Т. 427. — С. 711–721.
3. **В. П. Будак** и др. Локальные оценки метода Монте-Карло в решении уравнения глобального освещения с учетом спектрального представления объектов // Компьютерные исследования и моделирование. — 2012. — Т. 4. — № 1. — С. 75–84.
4. **Lubchenko A. V.** et al. Acceleration of Monte Carlo Simulation of Electron Transport // 2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2020. — С. 1–4.
5. **Afanas'ev V.** et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. — 2010. — Т. 74. — № 2. — С. 170.

*Л. Г. Лобанова, студ.; Ю. Н. Бодиско, асп.;  
рук. В. П. Афанасьев, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДИАГНОСТИКА ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Количественный анализ содержания изотопов водорода в материалах представляет широкий интерес для водородной энергетики, для анализа поверхностей, обращенных к плазме, в термоядерных установках и т. п.

В работе представлены результаты неразрушающего измерения послонных профилей дейтерия, имплантированного в бериллий, на основе Спектроскопии отраженных электронов — СОЭ, информационной глубиной анализа которого является величина транспортного пробега —  $l_{tr}$ , варьируемая в зависимости от энергии зондирующих электронов от сотен до тысяч нм, что соизмеримо с глубинами анализа, достигаемых в NRA (Nuclear Reaction Analysis) и ERD (Elastic Recoil Detection) [1]. Однако методика СОЭ в отличие от NRA и ERD реализуется на значительно более дешевых установках, не требующих огромных площадей для размещения.

Минусом методики СОЭ является невозможность разделения измеренного профиля концентрации водорода по изотопному составу, т. к. спектр СОЭ определяется только зарядом ядра. Решением этой проблемы является Спектроскопия пиков упруго отраженных электронов — СПУОЭ, реализуемая на той же установке, что и методика СОЭ, позволяющая определять изотопы водорода на глубинах, порядка средней длины неупругого пробега —  $l_{in}$ , что составляет несколько нм, и увеличивающаяся с ростом энергии по закону  $E^{0.7}$ . Детектирование изотопов водорода на основе СПУОЭ рассмотрено в работах [2, 3].

### **Литература**

1. **Schwarz-Selinger T., von Keudell A., Jacob W.** J. Appl. Phys. 86 (1999) 3988
2. **Kostanovskiy I. A., Afanas'ev V. P., Naujoks D., Mayer M.** Hydrocarbon isotope detection by elastic peak electron spectroscopy // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2015, 202, PP. 22–25.
3. **Afanas'ev V. P., Gryazev A. S., Kaplya P. S., Köppen M., Ridzel O. Yu., Subbotin N. Yu., Hansen P.** Investigation of Deuterium Implantation into Beryllium Sample by Electron Energy Loss Spectroscopy // Journal of Physics: Conference Series, 2017, V. 891, P. 012303.

*К. А. Рогозин, В. С. Квасков, А. А. Коньков, Базулин И. А. студенты;  
рук. В. П. Будаев, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДЕЗИНФЕКЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НИЗКОЧАСТОТНЫМ ПЛАЗМОТРОНОМ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ПЛАЗМЫ**

В период пандемии Covid-19 важно уделить особое внимание вопросам дезинфекции окружающих поверхностей для снижения уровня распространения заболеваний. На данный момент известно, что Covid-19 передается воздушно-капельным и контактным путём. Капли содержащие вирусы, осевшие на бытовые поверхности, способны сохранять жизнеспособность ещё длительное время и инфицировать людей в случае прикосновения [1].

Для дезинфекции поверхностей предлагается использовать малогабаритный плазмотрон атмосферного давления [2]. Компактность и эргономичность плазмотрона позволяют эффективно дезинфицировать различные бытовые поверхности, начиная от ручек дверей и заканчивая медицинским инструментом.

Параметры плазмотрона: Напряжение питания 220 В, частота сети 50–60 Гц, Напряжение разряда 5–15 кВ, ток разряда 1–10 мА, рабочая частота 80 кГц, ширина обработки 40–70 мм, длительность непрерывной работы составляет 15 минут, возможность инъекции в плазму аэрозолей активных веществ, рабочий газ — воздух атмосферного давления, температура плазмы не более 50°C, возможна дезинфекция бытовых поверхностей из пластика, стекла, металла, дерева и пр. Габариты установки: источник питания 300x300x200 мм, плазмотрон 180x100x30 мм.

Проведены испытания по дезинфекции плазмой. В ходе эксперимента проводилась обработка плазмой культуры *Escherichia coli* в чашке Петри с последующей инкубации при температуре 37°C. Во время подготовки к эксперименту культура *Escherichia coli*, штамм АВ1157 высаживалась на питательную среду LA помещённую в чашку Петри. Во время эксперимента чашка Петри с питательной средой обрабатывалась холодной плазмой, после чего выдерживалась в течении суток. В ходе экспериментов получены результаты по эффективности обработки холодной плазмой.

### **Литература**

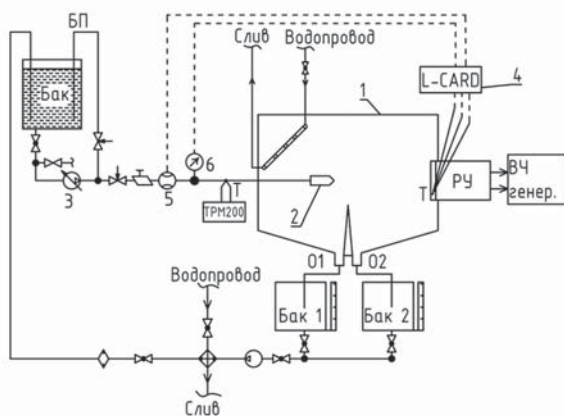
1. **Riddell et al.** *Virology* (2020) 17 145.
2. **K A Rogosin and A A Kon'kov** 2019 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1370 012037.

*В. В. Ильин, асп.; В. С. Штелинг, студ.;  
рук. А. Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Целью работы является исследование теплоотдачи диспергированным потоком теплоносителя от высокотемпературной поверхности, нагреваемой тепловыми потоками высокой плотности. Назначением экспериментального стенда является исследование возможности отвода тепловых потоков высокой плотности и термостабилизация в заданном интервале температур энергонагруженных конструктивных элементов.

На рис. 1 изображена принципиальная схема стенда. Визуальное наблюдение за процессом испарения проводится в герметичной камере (1), оснащённой смотровыми окнами из оптического стекла. В качестве источника нагрева используется индукционный нагрев при помощи ВЧ-генератора типа ВЧ-60 АВ.



**Рис. 1.** Принципиальная схема стенда: 1 — экспериментальная камера, 2 — форсунка, 3 — насос, 4 — система сбора информации L-CARD, 5 — измеритель давления, 6 — цифровой расходомер

Получены первичные экспериментальные данные при стационарном теплообмене в следующем диапазоне режимных параметров теплоносителя: массовый расход воды  $G_{\text{воды}} = 3 \div 20$  г/с; давление воды  $p_{\text{воды}} = (2,0 \div 4,0) \cdot 10^5$  Па. Для получения результатов в максимально большом интервале режимных параметров использовались различные форсунки с идентичными параметрами распыла.

Анализ первичных результатов показал эффективность данного метода охлаждения.

*Работа выполняется при поддержке гранта РНФ № 16-19-1045*

*Д. С. Лукьянцев, асп.; В. А. Ячук, О. Н. Павлов, студенты;  
рук-ли А. В. Лубенченко, д.т.н.; Д. А. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Один из наиболее перспективных способов создания программируемого устройства — мемристора основан на использовании тонкой металл-оксидной плёнки. Мемристор является ключевым элементом в устройствах памяти и смешанных аналого-цифровых процессорах нового поколения. Однако основной проблемой промышленного применения таких устройств является изменчивость параметров резистивного перехода [1].

Проводимость мемристора меняется, под действием протекающего тока в нём, по механизму изменения валентности, который обусловлен реакцией окисления/восстановления. На этот процесс влияют множество факторов, в том числе материал плёнки, толщина, стехиометрия и структура наноразмерных поверхностных слоёв. Для создания таких функциональных устройств применяются окисленные плёнки ниобия, тантала и другие [2].

Для создания оксидных металлических слоёв используются различные методы, например, пучковое ионное травление [3].

В настоящей работе ниобиевые оксидные слои различных стехиометрии и структуры в плёнке окисленного ниобия, ранее созданной методом магнетронного напыления, формировались при помощи слаботоочного ионного пучка. Образцы до и после каждого акта ионного травления исследовались неразрушающим чувствительным методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на платформе ЭИС Нанофаб-25.

По полученным спектрам проведён послойный фазовый анализ. Вычитание фона выполнено по методике, учитывающей различие потери энергии на поверхности и в объёме [4]. Фотоэлектронные линии разложены на парциальные пики. Результаты исследования окисленной ниобиевой плёнки показали, что возможно формирование технологической методики создания металл-оксидных слоёв с требуемыми параметрами.

### **Литература**

1. **Nandi S. K. [et al.]**. Threshold current reduction for the metal–insulator transition in NbO<sub>2</sub>-x-selector devices: the effect of ReRAM integration // J. of Ph. D: Appl. Ph. 2015. № 19 (48). С. 195105.
2. **Slesazek S. [et al.]**. Physical model of threshold switching in NbO<sub>2</sub> based memristors // RSC Adv. 2015. № 12 (5). С. 102318–102322.
3. **Joshi T. [et al.]**. Preparation, characterization, and electrical properties of epitaxial NbO<sub>2</sub> thin film lateral devices // J. of Ph. D: Appl. Ph. 2015. № 33 (48). С. 335308.
4. **Lubchenko A. V. [et al.]**. Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // J. of Ph.: Conf. Ser. 2019. (1370). С. 012048.

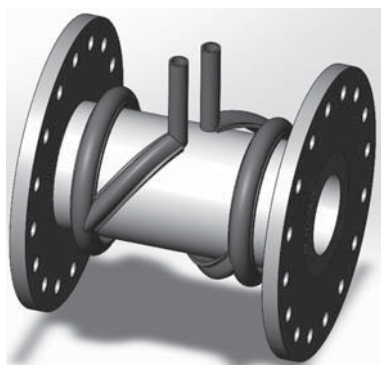
*Чан Куанг В., студент;  
рук. В. П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ АКТИВНО ОХЛАЖДАЕМОЙ ГЕЛИКОНОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЧ-НАГРЕВА ПЛАЗМЫ**

Для достижения плазменных параметров, аналогичных периферийной плазме крупного токамака в установке ПЛИМ-2 [1] необходимо решить задачу дополнительного нагрева плазмы. В установке ПЛИМ-2 будет создана система ВЧ-нагрева плазмы с использованием геликоновой антенны. Энергия из ВЧ-источника мощностью 5 кВт вводится в плазму через геликоновую антенну на частоте 13,56 МГц. Антенна расположена в воздухе, и мощность передается через керамический цилиндр, образующий границу вакуума в этой области [2]. Однако опыты в других установках показывают, что антенна может работать только в течение коротких импульсов длительностью несколько секунд на уровне мощности 5 кВт из-за сильной нагретой антенны.

Для обеспечения стационарного режима работы системы ВЧ-нагрева плазмы необходимо активно охлаждать антенну. В данной работе предложена конструкция геликоновой антенны с водяным охлаждением (рис. 1). Вычислительная гидродинамика (CFD) была использована для исследования теплогидравлических характеристик конструкции антенны с активным охлаждением. Затем термогидравлические результаты были перенесены в модель конечных элементов (FE) для расчета напряжений в антенне. Программное обеспечение ANSYS используется как для анализа CFD, так и для анализа FE.

Результаты проектирования и анализа антенны с водяным охлаждением показывают жизнеспособность конструкции. Однако представленная конструкция требует некоторой доработки для обеспечения технологичности, снижения перепада давления и структурной целостности.



**Рис. 1.** САПР модель геликоновой антенны

### **Литература**

1. **V P Budaev et al** 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1383 012016
2. **Чан Куанг В., Ячук В. А., Будаев В. П.** Система ВЧ-нагрева плазмы геликонового типа для установки ПЛИМ-М. III Межд. Конф. "Современные проблемы теплофизики и энергетики", Тез. докл. М.: 2020. с. 367–368.

*Е. М. Меньших, Д. В. Сизов ГБОУ Школа № 1375;  
рук-ли: С. Д. Федорович, к.т.н., доц., Е. В. Крылова к.п.н., доц.,  
(НИУ «МЭИ»)*

## **ДИАГНОСТИКА СОСТАВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ЛИЭС**

Создание термоядерного источника нейтронов на основе токамака-реактора должно быть обеспечено надежными технологическими и конструкторскими решениями, обеспечивающими длительную эксплуатацию охлаждаемых теплозащитных облицовок внутрикамерных компонентов, обращенных к плазме [1,2]. Как показывают экспериментальные наблюдения, дугообразование может кардинально изменить условия переноса тепла из плазмы на поверхность в токамаке. На токамаке Т-10 было обнаружено явление перегрева внутренней части кругового лимитера, изготовленного из пластин вольфрама марки ВМП-ИТЭР. На поверхности вольфрама наблюдались множественные кратеры дуг различных размеров от 1 мкм до 100 мкм как свидетельство дугообразования. В недавних экспериментах на токамаках Т-10, JET, AUG, WEST обнаружены ранее не наблюдавшиеся процессы разрушения и плавления вольфрамовых пластин лимитеров и диверторов.

В настоящей работе апробирована возможность исследования процессов возникновения и развития на поверхности пластин вольфрама лазерного факела, с помощью лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии — ЛИЭС. Результатом исследования будет разработка фундаментальных основ использования метода ЛИЭС для лазерной системы инициализации дугообразования при изучении условия переноса тепла из плазмы на поверхность в токамаке.

В работе применялась схема эксперимента, характерная для метода ЛИЭС. В качестве источника лазерного излучения использовался импульсный лазер Nd:YAG модели LQ529A с длиной волны  $\lambda = 1064$  нм и энергией импульса излучения  $E = 500$  мДж. Длительность импульса  $t = 10 \div 12$  нс. Частота повторения импульсов  $\nu = 10$  Гц. Диаметр пучка  $d = 8$  мм. Кварцевая линза с фокусным расстоянием  $F = 75$  мм позволяла уменьшить диаметр пучка на поверхности вольфрамовой мишени до 3 мм. Для измерения оптического спектра излучения плазменного факела вблизи поверхности мишени использовался автоматизированный трехканальный оптоволоконный спектрометр AvaSpec-ULS2048×16 –USB2-RM. В результате проведенных экспериментов были получены оптические спектры излучения приповерхностного плазменного факела, содержащего спектральные линии излучения возбужденных атомов вольфрама.

### **Литература**

1. **В. П. Будаев** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2015. Т. 38. № 4. С. 5.
2. **V. P. Budaev** Physics of Atomic Nuclei. 2016. V. 79. 1137.

*В. С. Квасков, К. А. Рогозин, А. А. Коньков, И. А. Базулин,  
Г. Б. Васильев, С. В. Белоусов, студенты;  
рук. В. П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПЫТАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЛАЗМОТРОНА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ИОНИЗАЦИЕЙ**

С развитием науки и техники возникла потребность в получении полимерных материалов с высокой смачиваемостью для более быстрого и дешевого нанесения различных покрытий. Многие существующие методы увеличения смачиваемости основаны на химической обработке, либо позволяют работать только с листовыми материалами [1]. Для обработки поверхностей полимерных материалов сложной формы без применения химических активаторов был разработан низкочастотный плазмотрон атмосферного давления, с разрядной камерой специальной конструкции [2]. Для увеличения эффективности обработки была добавлена секция первичной ионизации, состоящая из формирователя барьерного разряда.

Параметры плазмотрона: Напряжение питания 220 В, частота сети 50–60 Гц, Напряжение разряда 5–15 кВ переменного тока, ток разряда 1–10 мА, рабочая частота 80 кГц, ширина обработки 40–70 мм, длительность непрерывной работы составляет 15 минут, возможность инъекции в плазму аэрозолей активных веществ, рабочий газ — воздух атмосферного давления, температура плазмы не более 50°C, возможна дезинфекция бытовых поверхностей из пластика, стекла, металла, дерева и пр. Габариты установки: источник питания 300x300x200 мм, плазмотрон 180x100x30 мм.

Проведены испытания по увеличению смачиваемости различных материалов. Получены спектры плазменного разряда с одной и двумя ступенями ионизации. Получены краевые углы смачивания до и после обработки плазмой поверхностей ABS, PET, PETG, алкидного лака при различных параметрах плазмы.

Результаты актуальны для лакокрасочной промышленности и 3D-печати.

### **Литература**

1. **Strobel, M.; Walzak, M. J.; Hill, J. M.; Lin, M.; Karbasheski, E.; Lyons, C. S.** In Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion; Mittal, K. L., Ed.; VSP: Zeist, The Netherlands, 1994, p. 233.
2. **K A Rogosin and A A Kon'kov** 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1370 012037.



*А. А. Колесниченко студ. (НИЯУ МИФИ, Москва);  
С. С. Ананьев к. ф. -м. н. (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ ПУЧКОВОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ПЛАЗМЫ ТЯР В ПРОЕКТЕ ДЕМО-ТИН**

Одним из наиболее эффективных способов введения дополнительной мощности в плазму для обеспечения параметров протекания реакций термоядерного синтеза и генерации тока является инжекция высокоэнергетичных пучков атомов [1]. Применение системы пучкового нагрева на сегодняшний день рассматривается в качестве базовой для перспективных реакторов, использующих реакцию синтеза, а также гибридных реакторов, сочетающих в себе технологии синтеза и деления. Интерес к гибридным системам в последние десятилетия объясняется высокой эффективностью производства нейтронов термоядерного спектра, имеющих широкий спектр применения — как для решения прикладных задач, так и задач ядерной энергетики.

Проект ДЕМО-ТИН [2] разрабатываемый в НИЦ «Курчатовский институт» является пилотным проектом РФ по созданию гибридной установки и базируется на существующих технологических решениях. В проекте ДЕМО-ТИН предполагается использовать шесть инжекторов для стационарного ввода мощности дополнительного нагрева до 30 МВт. Задача эффективной транспортировки пучка в системе нейтральной инжекции (СНИ) требует многопараметрической оптимизации для снижения потерь пучка и ограничение тепловых нагрузок на компонентах инжектора до величин, допускающих эффективное охлаждение [3].

В данной работе выполнены теплофизические расчеты элементов инжекционного тракта и сформулированы соображения по организации эффективного отведения поглощённой мощности для внесения соответствующих доработок в инженерно-технический проект СНИ. Данные расчеты производятся на основании предварительных оценок полных потерь мощности, а также с использованием распределения нагрузок на всех компонентах СНИ [23]. Работа поддержана НИЦ «Курчатовский институт» (28.09.2020 № 1934а).

### **Литература**

1. **Ананьев С. С., Е. Д. Длугач, А. И. Крылов, Б. В. Кутеев, А. А. Панасенков** — ВАНТ Сер. Термоядерный синтез, 2018, т. 41, вып. 1.
2. **Azizov E. A., Ananyev S. S., Belyakov V. A. et al.** — Physics of Atomic Nuclei, 2016, vol. 79, № 7, pp. 1125–1136
3. **Ананьев С. С., Е. Д. Длугач, Б. В. Кутеев, А. А. Панасенков** — ВАНТ Сер. Термоядерный синтез, 2018, т. 41, вып. 3.

Д. А. Бурмистров, Р. Р. Усманов, К. В. Журавлев, Г. Б. Васильев, студенты.; рук. В. П. Будаев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»), И. М. Позняк, к.ф.-м.н. (ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г. Троицк)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ КАМЕРЫ

Целью работы является исследование поведения приповерхностной плазмы с помощью высокоскоростной камеры, чувствительной в вакуумном ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах (от 200 нм до 1 нм). Приповерхностная плазма, образуется при взаимодействии интенсивного потока водородной плазмы с поверхностью вольфрамовой мишени. Актуальность работы обусловлена необходимостью исследовать эффект паровой экранировки, который может сыграть ключевую роль в расчете ресурса защитных покрытий токамака-реактора ИТЭР.

Изделие состоит из камеры Smatek GC1392M и МКП с «быстрым» ЭОП-ом, что позволяет ей делать четыре последовательных кадра с минимальными экспозицией 30 нс и задержкой от момента пуска 10 нс. Максимальная экспозиция составляет 2 мкс по каждому из каналов.

На рис. 1 представлены типичные изображения плазменного эксперимента. Пунктирной линией обозначена поверхность мишени, направление движения водородной плазмы осуществлялось справа-налево. Снимки осуществлялись с интервалом 2 мкс. На рисунке показано, что приповерхностная плазма удаляется не дальше, чем на 40 мм от мишени. Анализ распределения яркости позволяет определить скорость расширения вольфрамовой плазмы (10–15 км/с). Формирование экранирующего плазменного слоя происходит менее чем за 2 мкс, после чего его свечение регистрируется в течение еще 15–20 мкс. Установлено, что интенсивное испарение вольфрама начинается при увеличении напряжения на электродах ускорителя от 14 до 16 кВ.

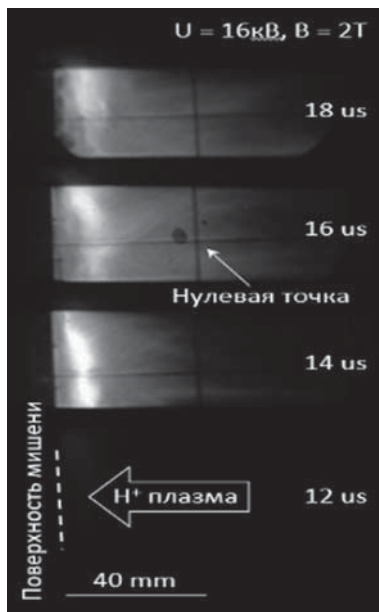


Рис. 1. Изображения плазменного эксперимента

*К. В. Журавлев, А. С. Демидов, Д. А. Тупотилов, В. С. Штелинг студ.;  
рук. А. В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В МОДЕЛИ ЛИМИТЕРА ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ В УСЛОВИЯХ ОДНОСТОРОННЕГО НАГРЕВА**

Одной из проблем, стоящих на пути к реализации управляемого термоядерного синтеза является эффективное охлаждение и поддержание стабильного температурного режима обращённых к плазме элементов конструкций термоядерного реактора, таких как дивертор, лимитер и бланкет. К работе систем охлаждения этих элементов предъявляют жёсткие требования. В настоящее время наиболее распространённые методы интенсификации связаны с закруткой потока теплоносителя способами модификации скрученной ленты, а также модификациями поверхности канала.

Целью данной работы является исследование эффективности охлаждения высокотемпературных элементов с помощью двухкомпонентного диспергированного потока теплоносителя.

Дисперсный поток (спрей) формируется распыливающим устройством, основным элементом которого является инжектор-форсунка, по центральному каналу которой под заранее выбранным давлением поступает вода, а по внешней конической части сопла поступает воздух. В результате взаимодействия потоков возникает мелкодисперсная смесь, направляемая в зону теплосъёма.

Теплосъём происходит с мишени рабочего участка — теплофизической модели, размещающейся в вакуумной камере ключевой особенностью которого заключается в наличии вольфрамовых модулей, припаянных к медному основанию. Данная конструкция является прототипом реальной защиты высоконагруженных элементов термоядерного реактора.

Высокая эффективность теплообмена обусловлена практически мгновенным испарением мельчайших капель воды с высокотемпературной поверхности, сопровождающимся поглощением значительного количества теплоты. При этом температура охлаждаемого объекта быстро снижается.

Представлены результаты исследования теплосъёма дисперсным потоком. Методика проведения эксперимента позволяет определить температурное поле в мишени, а также оценить значения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи в лобовой точке.

Получен массив экспериментальных данных в широком диапазоне режимных параметров теплоносителя.

Анализ полученных результатов позволяет оценить режимные параметры диспергированного потока (прежде всего расходные характеристики), при которых теплосъём наиболее эффективен.

*А. С. Демидов, К. В. Журавлев, Д. А. Тупотилов, студенты;  
рук. А. В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО УЧАСТКА ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Целью данной работы является исследование охлаждения высоконагруженной поверхности, нагреваемой тепловыми потоками высокой плотности, диспергированным двухкомпонентным потоком теплоносителя.

Создание диспергированного двухкомпонентного потока осуществляется при помощи пневматического распыливающего устройства, состоящего из сопла распыла жидкости, внешнего корпуса, подводящих каналов и элементов в которых происходит турбулизация и закрутка потока компонентов теплоносителя, узла подачи воздуха, узла подачи воды, а также фиксирующих и уплотняющих элементов.

Тепловоспринимающий элемент, моделирующий высоконагруженную поверхность, выполненный из псевдосплава меди и вольфрама обладает высокой температурой плавления и большим коэффициентом теплопроводности.

Нагрев тепловоспринимающего элемента производился при помощи индуктора, подключенного к ВЧ-генератору ИНС-20. Вся внутренняя поверхность тепловоспринимающего элемента охлаждалась диспергированным потоком, компонентами которого являются дистиллированная вода и воздух.

При проведении экспериментов был получен массив данных при стационарном режиме охлаждения в следующем диапазоне режимных параметров: расход воды составлял  $Q_{\text{воды}} = 30 \div 60$  л/ч; давление воды  $p_{\text{воды}} = (2,0 \div 4,0) \cdot 10^5$  Па; расход воздуха —  $Q_{\text{возд}} = 3 \div 5$  м<sup>3</sup>/ч; давление воздуха  $p_{\text{возд}} = (6,0 \div 9,5) \cdot 10^5$  Па. При этом, согласно показаниям генератора, мощность нагрева составляла от 6 кВт до 20 кВт.

В результате проведенных экспериментов получено распределение температуры нагреваемого образца по радиусу, а так же проведена оценка температуры внутренней поверхности, охлаждаемой диспергированным потоком.

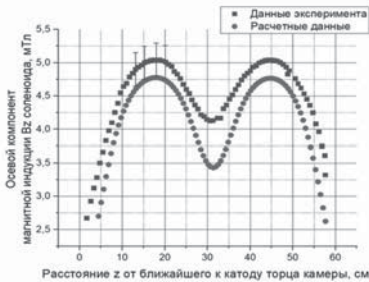
Первичные оценка показывают высокую эффективность предложенного метода охлаждения за счет испарения мельчайших капель жидкости на высокотемпературной поверхности и уноса образовавшейся паровой фазы используемым газом.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-79-00271*

*Р. Р. Усманов, студ.; Д. А. Бурмистров, студ.;  
рук. С. Д. Федорович, к. т. н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ВОСЬМИПОЛЮСНОЙ МУЛЬТИКАСПОВОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА УСТАНОВКИ ПЛМ-2**

Особенностью установки ПЛМ-2 является стационарный режим многочасового удержания плазмы, что представляет преимущество для отработки технологий и испытания материалов стенки термоядерного реактора. Целью работы являлось проектирование и изготовление устройства позиционирования датчика Холла для экспериментальной проверки расчёта индукции магнитного поля соленоида разрядной камеры ПЛМ-2.



**Рис. 1.** Сравнение экспериментальных данных с Расчетными данными. Сила тока в соленоиде  $I = 30$  А

Устройство состоит из двух дисков с системой отверстий для крепления в них датчика Холла. Внешний диаметр дисков совпадал с внутренним диаметром цилиндрической камеры ПЛМ-2. Система отверстий позволяла позиционировать датчик Холла по радиусу камеры с шагом 1 см от оси симметрии. Данные, полученные в ходе эксперимента, показывают, что продольное магнитное поле соленоида больше, чем показал расчет. Это обусловлено тем, что расчет не учитывает намагничивание корпуса, на котором расположена катушка.

Получены экспериментальные значения магнитной индукции поля рис. 1 при силе тока в соленоиде  $I = 30$  А. Анализ результатов показал, что продольное магнитное поле соленоида больше расчетного на 7.5%.

**Секция 41**  
**ТЕПЛОФИЗИКА**  
**Thermophysics**

---

*Председатель секции:*

*д.ф.-м.н., профессор Синкевич Олег Арсеньевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Глазков Василий Валентинович*

К. Е. Мякшина, студент;  
рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СНИЖЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛИННЫХ КРИОГЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ПОМОЩЬЮ КРИОГЕННОЙ ШУГИ

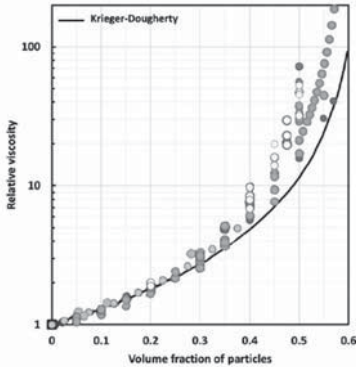


Рис. 1. Зависимость относительной вязкости от объемной доли сферических частиц [2]

вещества, в результате чего образуется шуга (текучая двухфазная смесь). Наличие твердых частиц в потоке приводит к увеличению эффективной вязкости смеси (рис. 1), которая определяется как [2]:

$$\eta = \eta_0 (1 - \varphi/\varphi_m)^{-A\varphi_m}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — объемная концентрация частиц,  $\varphi_m = 0.7$ . Для аспектного соотношения для ледяных игл  $a/b=30$  при  $\varphi = 0.1$  значение эффективной вязкости возрастает в 156 раз, и соответственно уменьшается число Рейнольдса. Таким образом при подборе необходимой концентрации частиц в потоке можно добиться перехода из турбулентного режима течения в ламинарный.

Также в работе рассмотрена возможность введения в поток вещества ферромагнитных микрочастиц для создания агломераций, аналогичных полимерным печочкам, позволяющих подавлять вихревые структуры.

### Литература

1. Кузма-Кичта Ю. А., А. В. Лавриков, В. В. Глазков, Р. А. Дуплянкин, К. Е. Мякшина. Методы снижения гидравлического сопротивления длинных криогенных трубопроводов // Тепловые процессы в технике. 2020. Т. 12. № 7. С. 290–300.
2. Rajinder Pal. New Generalized Viscosity Model for Non-Colloidal Suspensions and Emulsions // Fluids 2020, 5 (3), 150; <https://doi.org/10.3390/fluids5030150>

Т. А. Губанова, студ.; П. К. Канин, асп.;  
рук. В. В. Ягов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассматриваются процессы теплообмена при охлаждении металлических поверхностей в условиях вынужденного течения жидкости. Проведены эксперименты при воздействии на поверхность затопленной струи жидкости.

На кафедре ИТФ МЭИ была разработана приближенная модель возникновения интенсивного теплообмена при пленочном кипении. Жидкость может соприкасаться с шероховатостью поверхности, температура которой оказывается ниже достижимой предельной температуры жидкости, и становится возможен локальный прямой контакт жидкость/твердое тело (рис. 1). Такие контакты могут при определенных условиях обеспечить переход к режиму интенсивного теплообмена при пленочном кипении недогретых жидкостей [1]. В рамках данной модели вполне естественно объясняется эффект свободной струи. Струя механически воздействует на паровую пленку, делает ее тоньше, в результате увеличивается число и общая площадь контактов жидкости с выступами поверхностной шероховатости. Ясно, что локальное охлаждение становится более сильным.

В данной работе рассмотрены опытные данные о теплообмене при охлаждении никелевого цилиндра в неподвижной 60°C воде и при воздействии струи той же жидкости. Также представлены новые результаты экспериментов с охлаждением никелевого шара при воздействии струи в различных жидкостях при разных недогревах до температуры насыщения. Подтверждено предположение об интенсифицирующем влиянии струи на процесс охлаждения из-за дестабилизации паровой пленки.

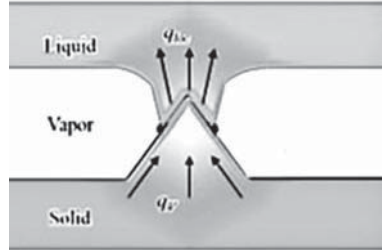


Рис. 1. Схема возможного контакта горячего поверхностного выступа с жидкостью

### Литература

1. V. V. Yagov, A. R. Zabirov, P. K. Kanin Heat transfer at cooling high-temperature bodies in subcooled liquids. J. Heat Transfer 126 (2018) 823–830
2. F. Moreaux, G. Beck, and Pierre Archambault Chapter 10: Effect of Workpiece Surface Properties on Cooling Behavior. Quenching Theory and Technology, Second Edition by B. Liscic and H. M. Tensi. Published in 2010 by CRC Press Book



Р. А. Дуплянкин, асп.; рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ТЕПЛОМАССОБМЕН ПРИ ПЛЁНОЧНОМ КИПЕНИИ НА СФЕРЕ, ПОГРУЖЕННОЙ В НЕДОГРЕТУЮ ЖИДКОСТЬ

Проведены эксперименты по исследованию тепломассообмена при пленочном кипении вокруг металлического шара, погруженного в недогретую воду. Измерены частоты отрыва паровых пузырей с поверхности паровой плёнки в зависимости от температуры твёрдой поверхности и высоты столба жидкости над поверхностью нагревателя. Построена модель, позволяющая рассчитать толщину паровой пленки и скорость течения пара в ней. Рассмотрены два варианта моделей отрыва паровых пузырей от поверхности пленки. Используемый подход в целом показывает согласие с результатами экспериментов по определению толщины паровой плёнки при плёночном кипении в большом объеме [1]. Согласие наблюдается в том числе и по определению частот отрыва пузырей в насыщенной жидкости [2]. Обработка результатов экспериментов для недогретой жидкости показала, что теплообмен на поверхности раздела фаз более интенсивен, чем ожидалось и определяется не только естественной конвекцией в жидкости, окружающей плёнку. С использованием разработанной модели определена зависимость коэффициента теплоотдачи с поверхности раздела фаз в окружающую недогретую жидкость от температуры поверхности шара, а также от других параметров.

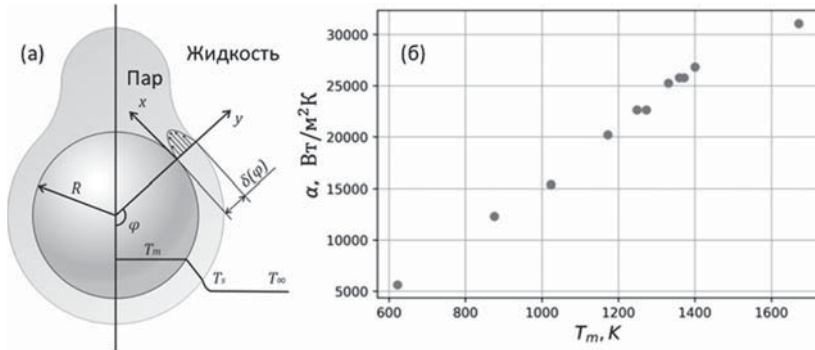


Рис. 1. (а) — Схема рассматриваемой задачи; (б) — расчётная зависимость коэффициента теплоотдачи с поверхности раздела фаз в недогретую жидкость при плёночном кипении воды на шаре диаметром  $D=10$  мм, и недогреве  $\Delta T_{sub}=T_s-T_\infty=80K$ .

### Литература

1. Агальцов А. М., Походалова А. Б., Шмельков Ю. Б. Исследование колебаний границы раздела жидкость-пар при пленочном кипении фреона-113 на поверхности сферы // ТВТ. 2011. Т. 49. № 6. С. 924
2. Frederking T. H. K., Daniels D. J. The relation between bubble diameter and frequency of removal from a sphere during film boiling // J. Heat Trans-T ASME. 1966. №Vol.88 (1)

А. Н. Сорокин, студ.; рук. Е. И. Юрин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОД ЛОВЛИ ЭКСТРЕМУМА ПРИ ЧИСЛЕННОМ ИНТЕГРИРОВАНИИ УРАВНЕНИЯ РЭЛЕЯ–ПЛЕССЕТА

Работа посвящена численному решению уравнения Рэля–Плессета [1], описывающего динамику пузырька. Рассмотрение этой задачи необходимо для исследования сонолюминесценции — явления испускания света пузырьком под действием ультразвука.

Для отладки численной схемы воспроизводятся известные результаты [2]. Численное интегрирование проводится улучшенным методом Эйлера с переменным шагом по времени. Типичное решение (Рис. 1) имеет жесткие экстремумы, поэтому при смене знака скорости шаг по времени подбирается таким образом, чтобы поймать экстремум в узел временной сетки.

Также исследуется влияние граничных условий и свойств жидкости, парогазовой смеси.

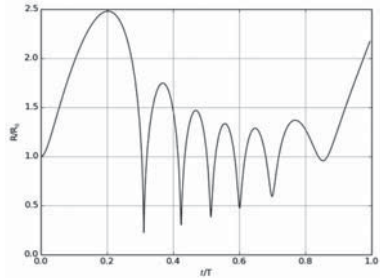


Рис. 1. Изменение относительного радиуса пузырька со временем в ультразвуковом поле

### Литература

1. Plesset M. S. (1949). “The dynamics of cavitation bubbles”. J. Appl. Mech. 16: 228–231.
2. D. Felipe Gaitan et al., Sonoluminescence and bubble dynamics for a single, stable, cavitation bubble, 1992.

Г. О. Зинченко, студент;  
рук. О. А. Синкевич, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ДИНАМИКА ВОЗМУЩЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЛОКАЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ВО ВЛАЖНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Изучается устойчивость слоя влажного воздуха, который находится над нагретой поверхностью океана или суши, при воздействии различных внутренних источников тепловыделения, зависящих от давления и плотности. Для малых трехмерных возмущений во вращающейся атмосфере выведено дисперсионное уравнение, которое кроме анализа известных акустических волн и волн Брента-Вайсяля, позволяет получить модифицированный критерий возникновения конвективной неустойчивости и исследовать влияние внутренних тепловыделений на динамику возмущений в этих волнах. Найден условия возникновения неустойчивости, генерируемой атмосферным электрическим разрядом. Учет новых эффектов

может приводить к появлению новых неустойчивостей [1, 2] и модифицировать ранее известные [3]. Предложенная система уравнений позволяет проводить численные расчеты вихревых течений во влажном воздухе в приповерхностном слое и более детально исследовать механизмы зарождения ураганов и торнадо.

На рисунке 1 представлено поведение нейтральной кривой в пространстве параметров  $(k, F)$  при отсутствии тепловыделения.

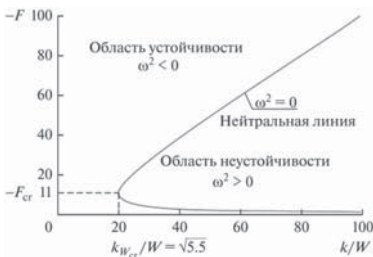


Рис. 1. Нейтральная кривая  $\omega^2 = 0$

### Литература

1. Синкевич О. А. Волны и неустойчивости в сплошных средах. М. Изд. МЭИ, 2016. 263 с.
2. Синкевич О. А. О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозового облака и турбулентной атмосферы // ТВТ. 2016. Т. 54. № 6. С. 827.
3. Руткевич П. Б. Неустойчивость не конвективной природы в насыщенном влажном воздухе. 2001.

*И. А. Молотова, асп.;*  
*рук-ли В. В. Ягов, д. т. н., проф.; А. Р. Забиров, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ В СМЕСЯХ ВОДА-ЭТАНОЛ**

Целью данной работы является экспериментальное изучение процессов охлаждения высокотемпературных цилиндрических тел в жидкостях с различными теплофизическими свойствами при пленочном и интенсивном режимах кипения. Исследование представляет интерес применительно к различным отраслям промышленности, в частности, для атомной энергетики (повторный залив активной зоны ядерного реактора в случае возникновения аварии с потерей теплоносителя). Для выбора нового вида толерантного топлива, благодаря которому можно повысить надежность АЭС, и обоснования его характеристик с позиций теплофизики возникает необходимость подробного изучения закономерностей охлаждения горячих тел в жидких средах.

Рабочими образцами являются цилиндры длиной 50 мм и диаметром 10 мм, выполненные из различных металлов (никель, нержавеющая сталь, медь). Экспериментальные исследования проводились при атмосферном давлении на установке, представленной в [1], образцы погружались в охлаждающую жидкость через открытую атмосферу. В качестве охлаждающих жидкостей использовались смеси воды и этанола различных концентраций. В ходе экспериментов были получены зависимости температур от времени — термограммы охлаждения образцов с последующим расчетом отводимых тепловых потоков с применением программного комплекса ANSYS.

Проведенные эксперименты демонстрируют, что повышение концентрации воды в этаноле приводит к росту скорости охлаждения с увеличением плотностей отводимых тепловых потоков. Рост минимальной температуры пленочного кипения (температуры Лейденфроста) также наблюдается с увеличением недогрева охлаждающей жидкости.

Исследования были проведены при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проект № 19-38-60057.

### **Литература**

1. **Kanin P. K., Ryazantsev V. A., Lexin M. A., Zabirov A. R., Yagov V. V.** Heat transfer enhancement at increasing water concentration in alcohol in the process of non-stationary film boiling // J. Phys.: Conference Series. — 2018. — V. 980. — P. 012029-1.

В. Д. Матушкин, студент;  
рук. О. А. Синкевич, д. ф.-м. н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ ГРАНИЦЫ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

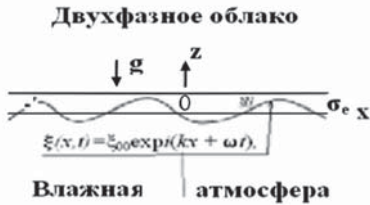


Рис. 1. Горизонтальная граница между двухфазным материнским облаком и влажным атмосферным воздухом

туды и частоты внешнего электромагнитного поля, необходимые для изменения границ устойчивости, полученных в [1]. Результаты работы представляют интерес для разработки методов воздействия на грозовое облако.

Проанализировано воздействие внешнего электромагнитного поля на возмущенную заряженную плоскую границу раздела грозового облака и турбулентного атмосферного воздуха (рис. 1). Оценены коэффициенты прохождения и отражения электромагнитной волны через границу облака.

Показано, что в рамках модели [1] уравнение для возмущенной плоской границы облака сводится к известному в математической физике уравнению Матъё. Используя это уравнение, получены оценки амплитуды

### Литература

1. Синкевич О. А. О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозового облака и турбулентной атмосферы. Теплофизика высоких температур. 2016, том 54, № 6, с. 827–824.

А. А. Арестова, студ.;  
рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БОЛЬШИХ КОНВЕКТИВНЫХ ВИХРЕЙ

В работе моделируется механизм закрутки больших атмосферных вихрей. Согласно предлагаемой в [1] гипотезе, развитая свободная конвекция в виде валов, сформировавшаяся в приземном пограничном слое [3], играет определяющую роль как в исходной закрутке большого вихря, так и в последующем его разгоне. Сдвиговое течение над нагретой поверхностью приводит к тому, что из образующихся в зоне конвекции конвективных валов «выживают» лишь те, циркуляция в которых сонаправлена с исходным сдвиговым течением. В работе приведены результаты, полученные при моделировании данного эффекта в рамках одномерной нестационарной модели глобальной конвективной ячейки [2]. Рассматриваемая в [1] система, описывающая конвекцию сухого воздуха, дополнена членами, учитывающими конденсацию водяного пара. Вдоль средней линии замкнутого торообразного контура, образующего конвективную ячейку, решалась система уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + W \frac{1}{R} \frac{\partial W}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} \frac{1}{R} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + g * \sin \varphi + \xi \frac{\rho W^2}{2 * d} + \frac{1}{\rho} \frac{d \rho_s}{dt} W H = 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{R} \frac{\partial (\rho W)}{\partial \varphi} = \frac{d \rho_s}{dt}, \\ C_v \left( \frac{dT}{dt} \right) - \frac{p}{\rho^2} \frac{d \rho}{dt} = \frac{4q}{d \rho} - \frac{r}{\rho} \frac{d \rho_s}{dt} (1 - H). \end{aligned}$$

Здесь  $\rho$ ,  $W$ ,  $T$ ,  $p$  — плотность, скорость, температура и давление влажного воздуха соответственно,  $q$  — плотность теплового потока со стенки,  $r$  — теплота парообразования,  $H$  — функция Хевисайда,

Приведены результаты, полученные при решении системы уравнений с учетом фазовых переходов, проведено сравнение с результатами, полученными для конвекции сухого воздуха.

### Литература

1. Карелина А. А.; Глазков В. В. Исследование механизма закрутки больших конвективных вихрей с помощью одномерной модели глобальной конвективной ячейки // XXV Межд. науч.-тех. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Тез. докл. М.: 2019. с. 757.
2. Свешников М. В. Конвекция в сжимаемых средах при больших числах Рэлея. Дисс. на соискание степени кандидата наук: 01.04.14. НИУ «МЭИ» М.: 2017.
3. Görtler H., Dreidimensionales zur Stabilitätstheorie laminaerer Grenzschichten // Z. Angew. Math. Mech., 35, pp. 362–363 (1955).

*А. С. Киселев, К. В. Никонова, Н. С. Иванов, студенты;  
рук. Ю. А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ НА КРАЕВОЙ УГОЛ**

Важную роль в явлении смачивания поверхности играет её структура. Гидрофобные свойства листа лотоса создаются не только за счет воскоподобного покрытия, но и микроструктуры поверхности. Рельеф листа лотоса образован выступами микронного размера, покрытыми отдельными «крупинками» гидрофобного вещества диаметром в несколько нанометров [1].

Прогресс нанотехнологий сделал возможным производство наноразмерных структур. В работе Kim [2] для поверхности с микролинейной структурой получен краевой угол 150 градусов и для поверхности с микростолчатой структурой -160 градусов. Краевой угол зависит от шероховатости поверхности, но имеющиеся данные ограничены.

В работе исследовано влияние механической обработки поверхности с помощью наждачной бумаги с различной шероховатостью (P800, P1200, P2500). Зернистость наждачной бумаги P2500 — 7.9–9.1 мкм; P1200 — 14.3–16.3 мкм; P800 — 20.8–22.8 мкм. Измерения проводились для поверхности меди, стали и алюминия.

Статический краевой угол измерялся методом лежащей капли с погрешностью  $\pm 5$  градусов. Угол измеряется с двух сторон капли и берется их среднее арифметическое. Все образцы очищены. Рабочая жидкость дистиллированная вода. Объем капли равнялся 0,0041 см<sup>2</sup>. Механическое изменение шероховатости приводит к изменению краевого угла: для поверхности меди на 17 градусов, для алюминия — 14 градусов, для стали до 10 градусов. Полученные данные согласуются с известными результатами [3], где краевой угол для поверхности меди изменяется на 22 градуса. Работа поддержана Минобрнауки России (FSWF-2020-0021).

### **Литература**

1. **Б. В. Дзюбенко, Ю. А. Кузма-Кичта, А. И. Леонтьев, И. И. Федик, Л. П. Холпанов.** Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах. ЦНИИАТОМИНФОРМ. 2008. С. 530.
2. **Kim J. and Kim C.-J.** Nanostructured Surfaces for Dramatic Reduction of Flow Resistance in Dropped-based Microfluids // Technical Digest, IEEE Conf. on MEMS, Las-Vegas, Jan.2002
3. **Орлова Е. Г., Феоктистов Д. В., Кузнецов Г. В.** Динамика изменения краевого угла капли дистиллированной воды на медной поверхности, Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6.

Е. Ю. Скотаренко, студ.;  
рук. О. А. Синкевич, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗАРЯЖЕННОЙ ГРАНИЦЫ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Экстремальные атмосферные явления представляют интерес для научного сообщества с практической точки зрения: снижение угрозы от разрядов молний, торнадо и тайфунов для людей, обеспечение безопасности предприятий, несущих риск для экологии. Однако количественные критерии, которые можно было бы сопоставлять с данными наблюдений и использовать для прогнозирования образования торнадо, практически отсутствуют [1].

Процессы развития неустойчивости электрически заряженной границы грозового облака обусловлены, во-первых, превышением плотности двухфазной среды облака над плотностью воздуха в подоблачной атмосфере, во-вторых, электрическим полем поверхностного заряда границы облака при условии, что диэлектрическая проницаемость облака выше, чем в атмосферном воздухе [1].

Используя модель и дисперсионное уравнение, полученные в работе [1], найдена граница возникновения неустойчивости грозового облака (рис. 1) в зависимости от географической высоты. Условие устойчивости:

$$gk \frac{\delta\rho}{\rho_s} = \frac{k^2 \sigma_e^2}{2\rho_s \varepsilon_0} \frac{\Delta\varepsilon'}{\varepsilon'_a \varepsilon'_f}. \quad (1)$$

Здесь  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $k=2\pi/\lambda$  — волновое число,  $m^{-1}$ ;  $\delta\rho=\rho_a-\rho_f$ ,  $\rho_s=\rho_a+\rho_f$  — разность и сумма плотностей атмосферного воздуха ( $a$ ) и облака ( $f$ ) соответственно,  $kg/m^3$ ;  $\sigma_e$  — поверхностная плотность заряда границы,  $Kл/m^2$ ;  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая постоянная;  $\Delta\varepsilon'=\varepsilon'_a-\varepsilon'_f$  — разность диэлектрических проницаемостей атмосферного воздуха и облака.

### Литература

1. Синкевич О. А. О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозового облака и турбулентной атмосферы // Теплофизика высоких температур. — 2016. — Т. 54. — № 6. — С. 827–834.

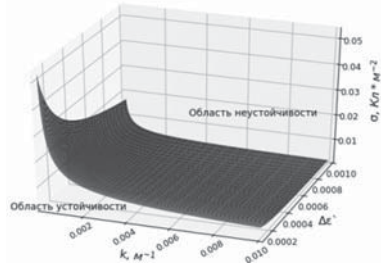


Рис. 1. Область устойчивости границы раздела двухфазного облака и атмосферного воздуха при соотношении плотностей  $q=\delta\rho/\rho_s=0.1$  на высоте 1000 м



*А. Т. Барановский, студ.;*  
*рук. А. В. Бухаров, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДОНОРСКОГО СЕРДЦА ПОСЛЕ ЕГО ИЗЪЯТИЯ**

В настоящее время значительно возросла потребность в трансплантации органов, поэтому остро встали вопросы по повышению эффективности процессов консервации органов до момента их пересадки.

Одним из направлений по повышению эффективности процессов консервации органов является разработка численных моделей, адекватно описывающих процессы охлаждения донорских органов после их изъятия.

Разработка таких моделей позволит в рамках численного моделирования, при минимуме экспериментов с живыми органами, определить наиболее эффективные методы охлаждения.

В данной работе представлено подробное описание математической модели охлаждения сердца, разработанной на базе программного пакета

Phoenics и следующей системы математических уравнений:

- 1) Уравнение Навье-Стокса

$$\operatorname{div}(\rho \vec{u} \otimes \vec{u} - \mu \nabla \vec{u}) = -\nabla P + \xi * \vec{u}$$

- 2) Уравнение энергии

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \operatorname{div}[\rho C_p \vec{u} T - \lambda \operatorname{grad}(T)] = 0$$

- 3) Граничные условия третьего рода

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = \alpha(T - T_{\text{ос}})$$

В работе представлены результаты численных расчётов с использованием разработанной модели. Сравнение результатов расчётов с результатами реального процесса охлаждения сердца, позволяет сделать общий вывод о адекватности разработанной модели. Обнаруженные в процессе сравнения расхождения планируются в дальнейшем устранить путём усложнения модели на базе новых экспериментальных результатов.

*А. М. Атаева, студ.; рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОРОВ МАЛЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

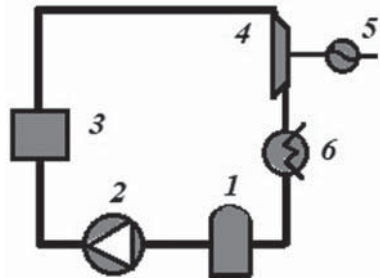
При работе любой энергетической установки часто можно столкнуться с нестационарным режимом работы её элементов. Эту особенность необходимо учитывать [1]. В данной работе исследовалась созданная на кафедре ИТФ установка, реализующая органический цикл Ренкина (ОЦР). В качестве рабочего тела в установке использовался фреон R141b. Схема установки показана на рис. 1. В ходе эксперимента фиксировались соответствующие расход фреона, температуры фреона на входе и выходе в конденсатор и испаритель, на входе в ресивер; измерены давления на входе в испаритель и на выходе из экспандера.

По полученным экспериментальным данным были обнаружены нестационарные режимы работы установки для определенного диапазона значений температуры теплового аккумулятора и расхода рабочего тела. Зафиксированы колебания большой амплитуды, вплоть до полной остановки циркуляции жидкого фреона на период 10–30 секунд. Источниками колебаний большой амплитуды являются, по всей видимости, испаритель и конденсатор установки.

Создана расчётная модель ОЦР-установки, содержащая в себе соответствующие математические модели основных элементов ОЦР-установки.

Для определения параметров рабочего тела — температуры, давления и расхода в конденсаторе установки сформулирована общая система уравнений, описывающая зависимость параметров рабочего тела от времени. Данная система относится к типу обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздыванием [2].

Получены предварительные результаты математического моделирования, показывающие, как минимум, качественное согласие с результатами эксперимента.



**Рис. 1.** Принципиальная схема ОЦР-установки.

1 — жидкотный ресивер, 2 — насос,  
3 — котёл, 4 — экспандер,  
5 — генератор, 6 — конденсатор

### Литература

1. **Федоров В. А., Мильман О. О.** Теплогидравлические автоколебания и неустойчивость в теплообменных системах с двухфазным потоком. М.: Издательство МЭИ, 1998, 244 с.
2. **Bellen A. and Zennaro M.** Numerical Methods for Delay Differential Equations, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 2003.

*А. Р. Галимова, М. О. Копылов, студенты; В. Э. Зинуров, асп.;  
рук. А. В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИКАТОРА С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

На сегодняшний день в химической, металлургической и других областях промышленности большое внимание уделяется использованию тонкодисперсных порошкообразных материалов и процессу разделения частиц по их фракционному составу [1–2]. В большинстве случаев, процессы разделения не позволяют добиться более точного фракционирования частиц, что приводит к снижению как качества изготавливаемой готовой продукции порошка, так и эффективности предприятия в целом. Поэтому на современном этапе задача повышения эффективности фракционирования частиц порошка является актуальной.

Для решения поставленной задачи авторами работы была разработана конструкция классификатора с соосно расположенными трубами. Особенностью классификатора с соосно расположенными трубами является то, что каждое завихрение при своем вращении дополнительно ускоряет два соседних относительно себя завихрений, что увеличивает значения центробежных сил и, как следствие повышает эффективность улавливания частиц из газового потока. В работе исследовались конструктивные изменения классификатора, оказывающие существенное влияние на эффективность фракционирования частиц сыпучего материала — форма внутренней трубы и глубина погружения внутренней трубы в устройстве  $h_d$ .

Результаты исследования показали, что задача классификации частиц сыпучего материала на основе силикагеля из газовых потоков решается наиболее эффективно с использованием классификатора с конусообразной внутренней трубой и классификатора с цилиндрической внутренней трубой при значениях показателя  $h_d = 50$  мм и  $h_d = 10$  мм соответственно. В ходе исследований было установлено, что в среднем эффективность классификатора с конусообразной внутренней трубой больше на 35,3%, чем эффективность классификатора с цилиндрической внутренней трубой.

### **Литература**

1. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Петрова Т. С., Дмитриева О. С. Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 3. С. 606–615.
2. Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Ву Линь Нгуен Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3–9.

А. А. Верголасов, студ.;  
рук. В. В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ОЦР УСТАНОВКИ ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

При расчете тепловых машин, реализующих органический цикл Ренкина (ОЦР), обычно рассматриваются стационарные режимы работы. Однако на практике возможен случай, когда установка, использующая в качестве источника тепла тепловой аккумулятор с постоянной температурой, при постоянстве внешних параметров, переходит в нестационарный режим работы. Такие режимы были зафиксированы при работе ОЦР установки [1], созданной на кафедре ИТФ НИУ «МЭИ», рис. 1.

За возникновение нестационарности с большой долей вероятности ответственны процессы, протекающие в испарителе нашей экспериментальной установки.

В работе сформулирована упрощенная математическая модель процессов, протекающих в испарителе, как в стационарном режиме,

так и в, конечном итоге, нестационарном, рис. 2. Получена система уравнений, описывающих кипение в испарителе ОЦР установки: Данная система относится к типу обыкновенных дифференциальных уравнений с запаздыванием [2]. Получены первые результаты моделирования, качественно согласующиеся с имеющимися экспериментальными данными.

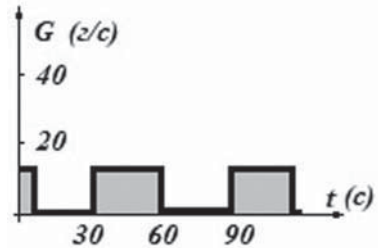


Рис. 1. График колебаний расхода жидкого фреона 141b в установке [1] при температуре теплового аккумулятора 90°C и давлении 3 ата

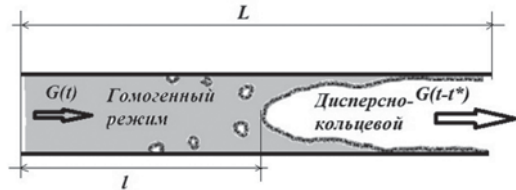


Рис. 2. Характер течения в испарителе

### Литература

1. Воробьев Н. Н., Яцки С. П., Нгуен Тхи Минь Ань, Глазков В. В. Разработка энергетической установки малой мощности реализующей органический цикл Ренкина (ОЦР) на низкопотенциальном тепле // XXV Межд. науч.-тех. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Тез. докл. М.: 2019. с. 780.
2. Bellen A. and Zennaro M. Numerical Methods for Delay Differential Equations, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 2003.

*А. В. Скурихин, асп.;*  
*рук. А. В. Костановский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОРИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

При приемо-сдаточных испытаниях изделий из теплоизоляционных материалов (ТИМ) требуется измерение их коэффициента теплопроводности (КТП). Данная процедура длительная, требует наличия дорогого аттестованного оборудования и труда квалифицированного персонала. В этой связи, может представлять научно-практический интерес разработка методики расчетной (прогнозной) оценки возможной величины КТП ТИМ. В настоящей работе сделана соответствующая попытка для наиболее распространенных ТИМ при температурах не выше 1000°C.

По мере нагрева необходимо учитывать все три механизма теплопередачи: фононную теплопроводность, излучение и конвекцию. Исходя из их независимой природы, сделано предположение, что эти составляющие аддитивны:  $q_{\text{общ.}} = q_{\text{фон.}} + q_{\text{изл.}} + q_{\text{конв.}}$ , поэтому их можно разделить, основываясь на экспериментальных данных [1–2].

В многофазном пористом объекте теплообмен в самом остоле, в промежуточной среде и на границах между ними осуществляется посредством [3]: (1) теплопроводности (ТП) вдоль отдельной частицы — элемента твердого скелета материала, (2) передачи тепла путем ТП от одной твердой частицы к соседней в местах их непосредственного контакта, (3) молекулярной ТП в среде, заполняющей промежутки между частицами, (4) теплопередачи на границах твердых частиц со средой, (5) излучения от частицы к частице, (6) конвекции газа и влаги, содержащихся между частицами. Каждая из данных долей КТП оценена в настоящей работе.

Результаты вычислений показали, что конвекция не вносит существенного вклада в общую ТП. Разработанные модели для пористого вещества, исходя из его параметров, а также анализ рассчитанных точного и приближенного решений позволили уточнить лучистую составляющую КТП и сравнить с фононной частью КТП.

### **Литература**

1. **А. В. Скурихин, А. В. Костановский** Определение коэффициента поглощения теомермикулита // «Приборы», 2019 № 5 (227).
2. **А. В. Скурихин, А. В. Костановский, С. А. Маркелов** Установка для измерения коэффициента теплопроводности сыпучих огнеупоров стационарным методом (на примере вспученного вермикулита) // «Приборы» № 10 (232), 2019.
3. **А. Ф. Чудновский** Теплофизические характеристики дисперсных материалов. Гос. Изд-во физ.-мат. Лит.-ры. М.: 1962. — 456 с.

*М. В. Кудрявцев, студент;  
руководитель: В. И. Артёмов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ СМЕШАННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ КОНВЕКЦИИ ЖИДКОСТЕЙ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ**

При моделировании турбулентных течений широко используются разнообразные двухпараметрические модели для расчета турбулентной вязкости. Одной из таких моделей является  $k$ - $\epsilon$  модель AKN (Abe, Kondoh, Nagano) [1] для низких турбулентных чисел Рейнольдса. Исходная модель не содержит дополнительных членов порождения (диссипации) в уравнении для кинетической энергии турбулентных пульсаций  $k$ , учитывающих вклад сил плавучести. В модифицированной модели AKN, реализованной в открытом CFD коде ANES [2], для учета сил плавучести в балансе турбулентной энергии  $k$  использовано несколько моделей, получивших в зарубежной литературе названия: Generalized Gradient Diffusion Hypothesis (GGDH) и Algebraic Heat Flux Model (AHFM). Для учета пристеночных эффектов привлекались демпфирующие функции для турбулентного числа Прандтля [2].

В работе представлены результаты численного моделирования с использованием модифицированной AKN модели «ухудшенных» режимов теплообмена при подъемном течении в режиме смешанной турбулентной конвекции  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  сверхкритического давления в вертикальной обогреваемой трубе. Результаты расчетов чисел Нуссельта сравниваются с экспериментальными данными и результатами численного моделирования [3]. Обсуждается эффективность применяемых моделей в рассматриваемых режимах смешанной конвекции.

### **Литература**

1. K. Abe, T. Kondoh, Y. Nagano, A new turbulence model for predicting fluid flow and heat transfer in separating and reattaching flows — I. Flow field calculations [J], Int. J. Heat Mass Transf. 37 (1) (1994) 139–151.
2. Код Anes20хе. «Описание численных алгоритмов кода», версия 2.24, 2019.
3. Pei-Xue Jiang, Zhen-Chuan Wang, Rui-Na Xu. A modified buoyancy effect correction method on turbulent convection heat transfer of supercritical pressure fluid based on RANS model // Int. J. Heat Mass Transfer. — 2018. — V. 127. — p. 257–267.

А. А. Клементьев, студент; рук. К. Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ НА ПУЧКАХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБ

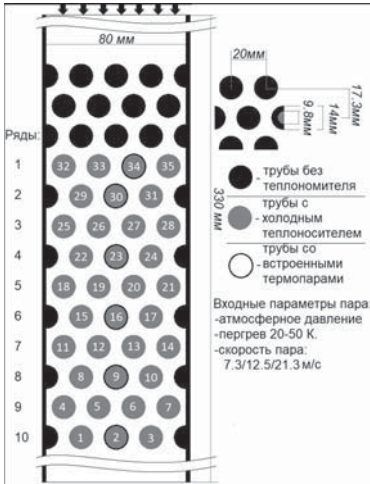


Рис. 1. Пример расчетной области

Конденсация имеет место во многих теплообменных аппаратах. В работе представлены результаты численного моделирования конденсации пара на поверхностях гладких горизонтальных труб с шахматной компоновкой, помещенных в канал с постоянным поперечным сечением (рис. 1). Система определяющих уравнений, состоящая из уравнений для импульса, энергии, массы компонент смеси (пара и воздуха) — решалась в двумерной постановке с использованием открытого CFD кода ANES [1]. Пленка конденсата, образующаяся на трубках, моделировалась с помощью модифицированной IBL (Integral Boundary Layer) модели [2]. Орошение нижних труб конденсатом, образованным на верхних трубках, описывалось новой моделью, которая учитывает возможный переток конденсата с вышерасположенной трубки сразу

на несколько нижних. Верификация модели проводилась с привлечением экспериментальных данных из работы [3], в которой трубки расположены достаточно плотно, вследствие чего могло иметь место течения конденсата, описанное выше. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01604).

### Литература

1. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 21.11.2020).
2. Актершев С. П. Устойчивость, нелинейные волны и процессы переноса в пленках жидкости при сложных условиях // Дисс. на соискание степени д.т.н., Институт теплофизики им. Кутателадзе РАН, Новосибирск, 2016.
3. Michael A. G., Lee W. C., Rose J. W. Forced convection condensation of steam on a small bank of horizontal tubes, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 114/713 (1992).

*А. М. Исмаилов, студ.;*  
*рук. Ю. П. Ивочкин, д.т.н. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН)*

## **МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВЗРЫВНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ РАСПЛАВА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Аморфные металлы (АМ) из-за своей особой внутренней структуры обладают уникальными механическими и физико-химическими свойствами, в частности: повышенными значениями твердости и коррозионной стойкости, высокой магнитной проницаемостью. Некоторые сплавы с аморфной структурой могут сочетать сверхпроводимость с высокой пластичностью. Кроме того, по сведениям многих авторов у АМ отмечается способность к более эффективному накоплению водорода. Последнее обстоятельство позволяет надеяться на перспективность использования АМ в водородной энергетике в качестве улучшенных материалов металлургических хранилищ этого газа-энергонапителя. Традиционные способы хранения водорода (например, в баллонах) небезопасны и недостаточно эффективны.

Описанный в докладе метод, основанный на фрагментации горячего расплава при контакте с низкокипящей жидкостью, например, водой, позволяет получить аморфный металлический порошок микронных масштабов. Анализ литературы показал, что процесс аморфизации зависит, в первую очередь, от темпа охлаждения в момент затвердевания. Характерный интервал скорости охлаждения:  $10^4$ – $10^{10}$  К/с [1]. Проведенная численная оценка подтверждает, что предложенный метод способен обеспечивать подобные значения этой величины.

Были выполнены специальные эксперименты по фрагментации металлических капель с целью проверки работоспособности данного метода. В опытах металлические образцы (материал — олово, свинец), нагретые в индукторе в состоянии левитации падали в емкость с водой и дробились. Результаты рентгеноструктурного анализа полученных осколков свидетельствуют о приобретении ими аморфной структуры.

### **Литература**

1. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. — М.: Металлургия, 1987.



Л. В. Ямщикова, соискатель, Н. А. Лучинкин аспирант;  
рук-ли Н. Г. Разуванов, д.т.н., в.н.с. (ОИВТ РАН)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КОНТУРЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Режимы течения с естественной циркуляцией теплоносителя представляют большой интерес для систем охлаждения энергетического оборудования, особенно в ядерной энергетике, которая базируется на реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим охлаждением активной зоны.

В ОИВТ РАН на ртутном стенде РК-2 смонтирована петля естественной циркуляции, где проводятся исследования теплообмена при течении модельного жидкого металла (ртути) в вертикальном канале. Петля включает в себя вертикальные участки труб: опускное течение с холодильником и подъемная с нагревателем.

Исследования проводились на трубе с нагревателем зондовыми методами с использованием микро-термопарных датчиков. С помощью корреляционного двух-термопарного датчика в сечении канала получены профили осредненной скорости и температуры, интенсивность температурных пульсаций, распределение температуры стенки и коэффициентов теплоотдачи (рис. 1). В экспериментах варьировались плотность мощность обогрева и гидравлическое сопротивление петли. Результаты по теплообмену обобщаются графиками числа Нуссельта от чисел Пекле, Гразгофа и Ричардсона.

Теплообмен в режиме естественной циркуляции фактически соответствует режиму смешанной турбулентной конвекции в вертикальной трубе при подъеме течения при малых расходах теплоносителя (числах Рейнольдса и Пекле).

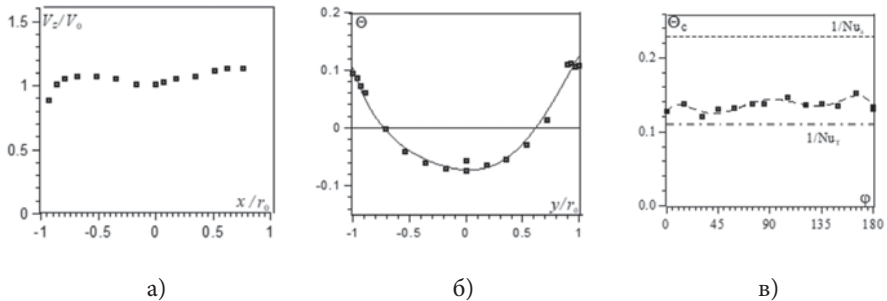


Рис. 1. Профиль осредненной скорости (а) и температуры (б), распределение Безразмерной температуры стенки (в) в режиме естественной циркуляции  $q_c=20$  кВт/м<sup>2</sup>

Е. А. Белавина<sup>1, 2</sup> соиск.; рук.: Н. Ю. Пятницкая<sup>1, 2</sup>, к.т.н., ст. преп.  
<sup>1</sup> НИУ «МЭИ»; <sup>2</sup> ОИВТ РАН)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ ИМИТАТОРОВ РАСПЛАВА СОЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Возможность применения расплавленных солей на основе фторидов в качестве рабочего тела в перспективных разработках ядерно-энергетических систем для новой технологической базы России требует решения нескольких ключевых научно-технических проблем [1]. Эти проблемы связаны с разработкой надежных конструкционных материалов и исследованием теплофизических особенностей теплоносителя. Решение последней проблемы, в значительной степени, сдерживалось отсутствием надежных систематизированных данных по физическим и химическим свойствам, специфики процессов теплообмена и технологии эксплуатации перспективных составов расплавов фторидных солей.

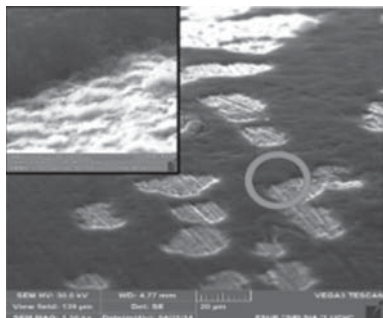
Работа в данной области ведется коллективом авторов НИУ «МЭИ»-ОИВТ РАН. На первоначальных этапах исследования был проведен анализ литературы [2–3], отражающий перспективу численного и экспериментального исследования особенностей смешанной конвекции имитаторов расплава соли под воздействием массовых сил различной природы. В работе представлены первые результаты численного моделирования смешанной конвекции в вертикальном канале в условиях однородного распределения источников тепла. Для верификации будущей экспериментальной сессии, в численном исследовании рассматривается 30-% водный раствор NaCl.

### Литература

1. **В. Л. Блинкин, В. М. Новиков.** Жидкосолевые ядерные реакторы. — М.: Атомиздат, 1978, 1112 с.
2. **K. L. Yerkes, A. Faghri.** Mixed convection analysis in large baffled rectangular chambers with internal heat sources // International journal of heat and mass transfer. — 1992. — Т. 35. — № 5. — С. 1209–1228.
3. **Y. Tasaka et al.** Experimental investigation of natural convection induced by internal heat generation // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2005. — Т. 14. — № 1. — С. 021.

*Е. А. Кустова, А. С. Киселёв, Е. А. Кулешов, Н. С. Иванов, студенты;  
рук: Ю. А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф.;*  
*А. В. Лавриков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ИЗ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**



**Рис. 1.** Снимок покрытия из наночастиц. Подложка — никель

Проблемы отвода тепла от миниатюрных электронных компонентов становятся все более актуальными [1]. Одним из способов интенсификации теплообмена является нанесение наночастиц. Для создания модели расчета критического теплового потока для покрытия из наночастиц необходимо определить эффективную теплопроводность.

На поверхности никеля в результате кипения наножидкости формировался слой наночастиц оксида алюминия [2] (Рис. 1). Размер наночастиц: 50–100 нм.

Для нахождения средней толщины покрытия использовалась следующая методика: образец фотографировался под микроскопом, затем с помощью специально написанной программы оценивалась толщина покрытия. Используя метод центральных прямоугольников, находилась площадь образца в пикселях, далее по известным масштабам одного пикселя получена площадь покрытия, которая относилась к площади, занимаемой покрытием, жидкостью и паром.

Получено, что толщина в среднем составляет 2–2.5 мкм, что согласуется с известными данными работы [1] (1–2 мкм).

### **Литература**

1. **М. В. Шустов, Ю. А. Кузма-Кичта, А. В. Лавриков.** «Покрытие микроканала наночастицами — эффективный метод повышения критической тепловой нагрузки» // Теплоэнергетика. 2017, № 4, С. 72–79.
2. **Ю. А. Кузма-Кичта, А. В. Лавриков, Н. Я. Паршин, Д. Н. Игнатьев, В. Н. Турчин.** «Способ формирования нанорельефа на поверхностях изделий» Патент 2433949, 20 11 2011

**Секция 42**  
**ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**  
**Technologies and physics of low temperatures**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Крюков Алексей Павлович*

*Секретарь секции: Сидоров Александр Андреевич*

*Л. А. Пинк, студ.; рук. Ю. Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ КИПЕНИИ ГЕЛИЯ-II ВНУТРИ ПОРИСТОГО ТЕЛА**

Исследование различных свойств гелия-II и явлений, происходящих в нем, имеет очень важное значение, ведь криоагент используется во многих областях промышленности, в том числе и в космических приложениях.

Проведение экспериментов с гелием предпочтительно в космических условиях, где гравитационные силы не оказывают искажающее воздействие на достижение необходимых режимных параметров. Для проведения космических исследований используются системы хранения гелия, которые включают в себя пористый сепаратор фаз, работающий на эффекте «фонтанирования» сверхтекучего гелия. Таким образом, особый интерес представляет изучение процессов, происходящих в пористой структуре.

В данной работе разработана методика расчета восстановительной тепловой нагрузки  $q_R$  при кипении гелия внутри пористого тела. Полученные расчетные результаты сравнивались с экспериментальными значениями, представленными в [1].

Для расчетов рассматривались две модели. В первом случае, задача состояла в нахождении восстановительной тепловой нагрузки на поверхности цилиндрического нагревателя, который помещен в коаксиальную пористую оболочку. Оболочка расположена на некотором расстоянии относительно нагревателя таким образом, что между ними присутствует кольцевой зазор, заполненный жидкостью.

В другом случае цилиндрический нагреватель помещают внутрь коаксиальной пористой оболочки, которая вплотную прилегает к поверхности нагревателя. Таким образом, в процессе кипения гелия-II образуется паровая пленка, которая частично заполняет поры оболочки.

При вычислениях применялись методы механики сплошной среды, молекулярно-кинетическая теория. Для описания теплопереноса в гелии использовалась теория взаимного трения Гортера-Меллинка.

В результате решения систем уравнений для двух вариантов постановки задачи получены расчетные значения, которые удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-19-00321).

### **Литература**

1. **R. Wang.** Peak and recovery heat flux densities in bath of superfluid helium // *Cryogenics*, 1994, V.34, N. 12, P. 983–990.

*А. А. Белова, студ.; рук. И. Ю. Миронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ШОКОВАЯ ЗАМОРОЗКА РЫБЫ С ПОМОЩЬЮ ВОЗДУШНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Рыба чрезвычайно полезный продукт питания с высокой биологической ценностью. 75% рыбопродуктов добывается на Дальнем Востоке, а 75% населения живёт в Европейской части.

При стандартной температуре хранения минус 20...24°C рыба остаётся пригодной к употреблению от одного месяца до полугода в зависимости от вида рыбы. Основные причины — окисление ненасыщенных жиров и деятельность бактерий.

Доставка рыбы с места лова до потребителя осуществляется за время сопоставимое со сроком хранения.

Следовательно, надо менять условия хранения и условия транспортировки:

1) Применять шоковую заморозку и 2) Использовать Северный Морской Путь.

Суть шоковой заморозки: а) быстрый переход через ~0°C в среде с температурой минус 100°C, чтобы кристаллы воды не успели разрушить клетки биопродуктов; б) в рыбе, замороженной до минус 70°C, прекращаются окислительные процессы и деятельность бактерий; рыба может храниться годами. Итог: сохраняются полезные свойства и внешний вид.

В работе приводится устройство и расчёт всех основных элементов установки шоковой заморозки и хранения рыбопродуктов с помощью воздушной холодильной машины. Работа состоит из четырёх частей: заморозка биопродукта, выбор холодильного цикла, теплообмен и работа машинного оборудования.

### **Литература**

1. **В. Д. Ванштейн, В. И. Канторович.** Низкотемпературные холодильные установки. Пищевая промышленность, 1972. 35 с.
2. **В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел.** Теплопередача // издание 3, перераб. и доп. — М: «Энергия». 1975. 488 с.
3. **М.: Остров.** Руководство по расчету теплового баланса холодильных камер и выбору основных проектных параметров холодильных установок. 1999. 56 с.

В. А. Новиков, аспирант; рук. А. П. Крюков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАПЛИ В СОСТОЯНИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Основными целями работы являются:

- 1) экспериментальное определение изменения температуры испаряющейся капли воды, находящейся в состоянии акустической левитации, в зависимости от времени;
- 2) экспериментальное определение изменения объема, испаряющейся капли, в зависимости от времени по методике описанной в [1].
- 3) расширение функционала программного решения для автоматизированного обнаружения и расчета объема и температуры левитирующих капель на фотографиях.

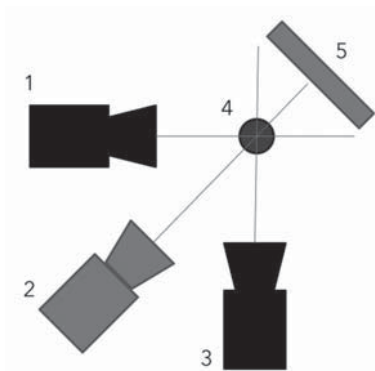


Рис. 1. Схема проведения эксперимента. 1, 3 — камеры; 2 — тепловизор; 4 — капля в состоянии левитации; 5 — тепловой экран

Измерения проводятся на основе массива фотографий, снятых через равный интервал времени. В процессе вычисления принимается, что объем капли может быть вычислен по формуле объема эллипсоида. Температура, атмосферное давление и влажность воздуха известны.

Капля в состоянии акустической левитации снимается с трех углов (рис. 1). Все камеры делают снимки синхронно через определенный интервал времени (рис. 1).

С целью автоматизации обработки результатов измерений, был расширен функционал программы DDgor [2]. Помимо улучшения производительности, добавлена возможность загружать две обычные и одну термическую фотографии для каждого измерения.

### Литература

1. В. А. Новиков, А. А. Градусов, А. П. Крюков, В. Ю. Левшов. Исследование процесса испарения левитирующих капель. Труды седьмой Российской национальной конференции по теплообмену в 3-х томах (22–26 октября 2018 г.). Т. 2 — М.: Издательский дом МЭИ 2018. — 98–101 с.
2. В. А. Новиков, К. В. Федорова рук. А. П. Крюков. Разработка программы для автоматизированного обнаружения левитирующих капель на фотографии и вычисления их объема. Двадцать шестая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. — 836 с.

*П. С. Пчелинцев студ.; А. П. Крюков д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ В ВОЗДУХ ИЗ СОСУДОВ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ**

Известно, что испарение осуществляется при работе тепло-массообменного оборудования в различных технологических процессах. Наблюдающееся стремление к миниатюризации объектов электронной техники обуславливает потребность во все более компактных устройствах стабилизации температурного режима. Испарение капель в окружающую среду реализуется также в различных паро-капельных потоках и управляемых кластерах [1]. Для разработки этих и подобных систем необходимо располагать надежным способом расчета интенсивности испарения и соответствующей мощности охлаждения, чему посвящена представляемая работа.

Рассматривалось испарение жидкости (воды) в парогазовую среду (воздух) из сосудов цилиндрической формы различных размеров. Цель исследования — получить оценочные данные об интенсивности испарения, выявить степень влияния механизмов тепло- и массопереноса, сравнить результаты расчетов по диффузионной модели [2] и ее модификациям с экспериментальными данными. В проведенных опытах измерялись: температура воды и окружающей среды, уровень жидкости в сосудах, влажность воздуха, время, что позволяло определить удельный поток массы при испарении. Значения этой величины, определенные в ходе экспериментов, находятся в диапазоне от  $0,3 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup> с) до  $1,9 \cdot 10^{-5}$  кг/(м<sup>2</sup> с).

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что интенсивность испарения зависит преимущественно от разности температур воздуха и воды и в меньшей степени от влажности. В ходе выполнения расчетных оценок был найден диапазон размеров — диаметра и длины парогазовой области в сосуде, для которого оправдано применение традиционной одномерной диффузионной расчетной модели определения удельного потока массы при испарении.

*Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (20-08-00342.)*

### **Литература**

1. **L. A. Dombrovsky, A. A. Fedorets, V. Yu. Levashov, A. P. Kryukov, E. Bormashenko, M. Nosonovsky.** Stable cluster of identical water droplets formed under the infrared irradiation: Experimental study and theoretical modeling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 161. 2020, 120255.
2. **В. П. Исаченко.** Теплообмен при конденсации. Москва: Энергия, 1977.



*А. И. Егорова, асп.; А. С. Колесников; А. С. Кротов;  
рук. Д. И. Цыганов, д.т.н., проф. (МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО ЛЬДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

Роль вторичных хладоносителей растет с ужесточением требований по выбросам углекислого газа в атмосферу. Но энергопотребление систем с вторичными хладоносителями выше на 10–20% по сравнению с системами непосредственного охлаждения. Систему можно улучшить, если использовать двухфазный хладоноситель, например, жидкий лед. Он повышает эффективность установки за счет скрытой теплоты фазового перехода, снижает затраты на электроэнергию [1].

Низкая распространенность двухфазных хладоносителей объясняется существующими методами генерации льда. В рассмотренных методах производства жидкого льда были выявлены недостатки. Оборудование ненадежно и дорого в обслуживании, требует большой разности температур между кипящим хладагентом и раствором для производства льда, что сказывается на конечном энергопотреблении установки.

Повысить привлекательность метода можно за счет отказа от движущихся частей и многочисленных приводов, удешевления оборудования, а также за счет снижения разности температур кипения и кристаллизации раствора.

Перспективными в сфере генерации жидкого льда считаются способы, в которых отделение намерзающего слоя осуществляется за счет периодического нагрева теплообменной поверхности [2].

В исследовании поверхность теплообмена тестового элемента подвергается воздействию переменного магнитного поля, индуцирующего в металлической поверхности вихревые токи. При высокой частоте переменного магнитного поля токи вытесняются к поверхности металла, и нагреву подвергается только тонкая прослойка на его оболочке.

По результатам исследования подтверждена возможность непрерывного получения льда в потоке хладоносителя без дополнительных средств очистки теплообменной поверхности, определен характер кристаллизации на ней. Установлены примерные режимы работы установки в зависимости от расходов раствора, а также возможное количество получаемого льда.

### **Литература**

1. **Kauffeld M., Kawaji M., Egolp P. W.** Handbook on Ice slurries // International Institute of Refrigeration, 2005.
2. **Schaaf J., Kauffeld M.** Ice aluminium debonding with induction heating // Journal of Adhesion Science and Technology, 2018.

*Ю. И. Шиповская, асп.; рук. В. И. Могорычный, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **КИПЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ**

В последние десятилетия вырос интерес к дроссельным регенеративным системам в связи с применением многокомпонентных рабочих тел. Применение многокомпонентных рабочих тел позволяет создавать эффективные дроссельно-регенеративные системы охлаждения с улучшенными масса-габаритными показателями. Одним из требований, которые предъявляются к криогенным дроссельным системам на смесях, является достижение и поддержание температур 70–120 К при сохранении высокой эффективности.

В настоящее время задача теоретического и экспериментального исследования процессов теплообмена и гидравлических потерь в теплообменных аппаратах пластинчатого типа на выше упомянутом диапазоне температур не исследована хорошо. В связи с этим, выделяются следующие цели работы:

- Подробный литературный обзор имеющихся работ, в которых производились исследования смесей, состоящих из трёх и более компонентов при использовании пластинчатых теплообменников [1, 2];
- Расчёт процессов теплообмена и гидравлических потерь в пластинчатых теплообменных аппаратах дроссельной системы на смеси;
- Разработка экспериментального стенда.

В перспективе дальнейших исследований предполагается разработка и модернизация экспериментального стенда с целью визуализации течения потока рабочего тела для визуализации режимов течения смеси, так как режим течения оказывает существенное влияние на процесс теплообмена и процесс установления фазового равновесия.

### **Литература**

1. **Raffaele L. Amalfi, Farzad Vakili-Farahani, John R. Thome.** Flow boiling and frictional pressure gradients in plate heat exchangers. Part 1: Review and experimental database // international journal of refrigeration 61 (2016) 166–184;
2. **Weiqliang Pang, Jinping Liu, Jiaji He, Xiongwen Xu.** Thermal performance of brazed plate heat exchangers for a mixed-refrigerant Joule–Thomson cooler // international journal of refrigeration 61 (2016) 37–54.

*Е. С. Гладышева, студ.; рук. П. В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КИПЕНИЕ He-II НА ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ: РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА**

На протяжении последних десяти лет на кафедре низких температур НИУ МЭИ коллективом авторов проводятся эксперименты по исследованию процессов теплопереноса при кипении сверхтекучего гелия (гелия-II, He-II) на цилиндрических нагревателях [1, 2]. Эти эксперименты проводились как в условиях свободного объема, так и в полости внутри пористого тела. Во всех экспериментах при кипении в «большом объеме» после достижения стационарного режима наблюдалась устойчивая гладкая паровая пленка на греющих поверхностях. В то же время исследования кипения гелия-II на цилиндрическом нагревателе, расположенном внутри пористого тела, показали, что в ряде случаев паровая пленка была разомкнутой и пар скапливался в верхней части пространства экспериментальной ячейки, т. е. картина кипения была близка к той, что наблюдается при кипении обычных (неквантовых) жидкостей. Поскольку целью экспериментов являлось исследование теплообмена при наличии гладкой стационарной паровой пленки, возникла необходимость в определении области режимных параметров, при которых возможно устойчивое кипение He-II при отсутствии «раскрытия» пленки пара.

При построении математической модели пленочного кипения на поверхности нагревателя в полости внутри пористой оболочки решено было использовать для описания течения He-II через пористую структуру справедливое в широком диапазоне значений числа Рейнольдса «квадратичное» уравнение Дарси. Установлено, что область режимных параметров эксперимента, в которой возможно устойчивое пленочное кипение, может быть представлена на диаграмме «глубина погружения — температура гелия-II». Расчеты предельной глубины погружения нагревателя дают результаты только лишь качественно согласующиеся с результатами экспериментов.

В ходе дальнейших исследований проблемы планируется решить задачу об устойчивости паровой пленки при кипении, базируясь на имеющемся дифференциальном уравнении, являющимся аналогом уравнения Рэлея, описывающем рост пленки пара на цилиндрической греющей поверхности.

### **Литература**

1. **P. V. Korolyov, Yu. Yu. Puzina.** Experimental Study of Superfluid Helium Boiling on a Cylindrical Heater within the Porous Shell // *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. — Vol. 891–012018.
2. **P. V. Korolyov, I. A. Yachevsky.** An experiment on He-II film boiling inside the porous structure // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. — Vol. 1128–012050.

*А. А. Сидоров, асп; рук. А. К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕГРАЦИЯ МОДУЛЯ РЕШЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПЕЛЬ ПО РАЗМЕРАМ В CFD-ПАКЕТ**

С развитием новых технологий, в частности, трехмерного компьютерного моделирования процессов теплообмена и гидродинамики методами конечных объемов (CFD) появилась возможность проектировать сложные машины и агрегаты с существенно меньшими экономическими и временными затратами. Однако, при столь стремительном росте интереса к CFD-исследованиям, расчетные пакеты, представленные на сегодняшний день, не способны охватить весь спектр научно-инженерных задач. В частности, несмотря на требования турбомашиностроения, до сих пор не были включены в стандартный функционал модели фазовых переходов, которые с достаточной точностью описывают протекающие процессы. Одним из примеров таких эффектов является образование капель в объеме газовой фазы в проточной части турбоагрегата, что приводит к эрозионному износу лопаток рабочего колеса и аварийным ситуациям.

Результатом работы стал универсальный модуль для решения кинетического уравнения для функции распределения капель по размерам [1] с последующей интеграцией в CFD-пакет. Это позволило исследовать процесс объемной конденсации при истечении парогазовых смесей в машинах и аппаратах криогенной техники в двух- и трехмерных постановках с учетом сложной геометрии и турбулентности на этапе проектирования агрегата.

Верификация расчетной методики проводилась на основании сравнения результатов расчетов для объемной конденсации при истечении парогазовой смеси через щелевое сопло в трехмерной постановке с экспериментальными данными [2], а также расчетными данными в одномерной постановке [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90247.

### **Литература**

1. **Стернин Л. Е.** Основы газодинамики двухфазных течений в соплах. М.: Машиностроение, 1974.
2. **Pathak H., Mullick K.** The structure of D2O-nonane nanodroplets // The Journal of Chemical Physics. 2014. Vol. 140, 224318.
3. **Сидоров А. А., Ястребов А. К.** Влияние геометрических характеристик канала и свойств парогазовой смеси на объемную конденсацию при течении в сопле // Теплоэнергетика. 2018. № 1. С. 68–76.

*А. А. Сидоров, асп; рук. А. К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЛАСТЕЙ ВОЗМОЖНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СТУПЕНИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОДЕТАНДЕРНОГО АГРЕГАТА МЕТОДАМИ CFD**

Турбодетандерные агрегаты (ТДА) относятся к лопастным криогенным машинам расширительного типа и предназначены для решения большого круга задач: получения холода, очистки и ожижения газов, а также для получения электроэнергии в турбодетандерах-генераторах.

В реальных условиях рабочая среда, поступающая в турбодетандер, содержит некоторое количество примесей, которые влияют на характеристики потока, на результирующее значение температуры на выходе из ТДА, а также на срок службы проточной части агрегата. Наличие примесей и их конденсация зачастую становятся причиной эрозийного разрушения лопаток рабочего колеса вследствие бомбардировки каплями образующегося конденсата.

Методами конечных объемов проведено исследование процесса детандирования смеси двух газов в ступени турбодетандерного агрегата в трехмерной нестационарной постановке. В ходе расчетов выявлено, что на выходе из направляющего аппарата имеются области, в которых степень пересыщения существенно превышает единицу, что является необходимым условием для фазовых переходов. На основании этого факта сделано предположение о возможной локализации фазовых переходов в проточной части, подтверждаемое характерными разрушениями рабочего колеса [1].

Авторами ранее был исследован процесс объемной конденсации для случая истечения парогазового потока из диффузора [2] в одномерной стационарной постановке, ввиду чего следующим шагом предполагается интеграция в расчетный пакет модуля решения кинетического уравнения для распределения капель по размерам [3] в трехмерной нестационарной постановке для дальнейшей оценки интенсивности фазовых переходов в проточной части, а именно конденсации примесей в объеме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90247.

### **Литература**

1. **Мартьянов О. А., Меркулов В. И.** Обзор проблемы течения влажного воздуха в турбодетандерах // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. Т. 1. № 4. С. 51–55.
2. **А. А. Сидоров, А. К. Ястребов.** Влияние геометрических характеристик канала и свойств парогазовой смеси на объемную конденсацию при течении в сопле // Теплоэнергетика. 2018. № 1. С. 68–76.
3. **Стернин Л. Е.** Основы газодинамики двухфазных течений в соплах. М.: Машиностроение, 1974.

*В. О. Майоров асп.; А. К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПЕЛЬ ПО РАЗМЕРАМ**

Численное моделирование течений с учетом объемной конденсации пересыщенного пара является достаточно трудоемкой задачей. Объемная конденсация протекает в два этапа: образование зародышей новой фазы (нуклеация) и их конденсационный рост. Таким образом, в потоке может присутствовать большое число капель, имеющих разный размер, поэтому для моделирования таких течений обычно используется метод, основанный на прямом численном решении кинетического уравнения для функции распределения капель по размерам [1]. Однако, при решении практически важных задач описанный в [1] метод требует существенных вычислительных мощностей.

В работе предложен альтернативный метод прямого численного решения кинетического уравнения для функции распределения капель по размерам, в котором, в отличие от [1], не используется схема расщепления по физическим процессам. Это позволяет несколько снизить объем вычислений и положительно сказывается на времени решения задачи. Помимо всего прочего, при компьютерной реализации нового алгоритма используются методы параллельного программирования, что позволяет эффективнее использовать вычислительные мощности компьютера.

Эффективность разработанного алгоритма оценивается по времени, затрачиваемому на решении задачи об объемной конденсации в осесимметричном канале с охлаждаемыми стенками [2]. Результаты численных расчетов и сравнение с ранее разработанным методом решения кинетического уравнения [1] будут представлены на конференции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90042.

### **Литература**

1. **Корцештейн Н. М., Самуйлов Е. В., Ястребов А. К.** Новый метод моделирования объемной конденсации пересыщенного пара // ТВТ. 2009. Т. 47 № 1
2. **Mayorov V. O., Yastrebov A. K.** Numerical study of bulk condensation in laminar flow diffusion chamber // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 891. 012129

*И. А. Ячевский, асп.; рук. П. В. Королев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО КИПЕНИЮ He-II НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ В СТЕСНЁННЫХ УСЛОВИЯХ**

Исследование проблем, связанных с ролью термического сопротивления межфазной поверхности пар-жидкость в процессах теплопереноса при кипении, требует детального понимания закономерностей формирования замкнутых стационарных паровых пленок на нагревателях различной геометрии. Для исследования данных процессов при кипении сверхтекучего гелия (He-II) на кафедре низких температур НИУ «МЭИ» была спроектирована установка, описание которой представлено в [1, 2]. Ранее на этой экспериментальной установке был получен большой массив данных по кипению гелия-II на цилиндрическом нагревателе в полости внутри пористой структуры. Для дальнейшего изучения пленочного кипения He-II и выявления влияния пористой оболочки на процесс было необходимо провести дополнительные серии экспериментов, подтверждающие эти результаты.

Данная работа посвящена описанию новых экспериментов и сопоставлению полученных в них данных с представленными ранее. В процессе проведения опытов был так же достигнут режим с замкнутой паровой пленкой на цилиндрическом нагревателе диаметром 3 мм и длиной 30 мм, находящимся внутри ячейки. В процессе эксперимента постоянство давления и температуры среды в криостате достигались за счет откачки паров He-II. Таким образом температура жидкого гелия опускалась до значений, приближенно равных температурам в предыдущем эксперименте для тех же уровней жидкости в криостате, а затем подавались сходные значения тепловой нагрузки. Температура нагревателя в процессе отслеживалась с помощью терморезистивных датчиков, закрепленных на его поверхности. В итоге были получены кадры видеозаписи высокого качества и точные показания приборов при максимально схожих с прошлыми опытами режимных параметрах. Более подробно результаты будут представлены в докладе на конференции.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-19-00321).

### **Литература**

1. **Королев П. В., Крюков А. П., Пузина Ю. Ю.** Экспериментальное исследование кипения сверхтекучего гелия (He-II) внутри пористого тела // Прикладная механика и техническая физика. 2017. Т. 58. № 4. С. 126–134.
2. **Королев П. В., Крюков А. П., Пузина Ю. Ю.** Конструкция экспериментальной ячейки для исследования кипения гелия-II в условиях невесомости // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. 2012. Т. 130. № 5. С. 43–50.

*А. Д. Соловьева, студ.; рук. А. К. Ястребов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ ПРИ ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ В ЗАПЫЛЕННОМ ПОТОКЕ**

Основной задачей данной работы является исследование применимости разных моделей для расчета температуры конденсированной фазы при объемной конденсации в сверхзвуковом парогазовом потоке. На практике такая постановка усложняется наличием в потоке гетерогенных центров конденсации, например, частиц пыли. Самым простым подходом к определению температуры жидкости является однотемпературная модель, в которой температуры парогазовой смеси, капель и пылинки считались одинаковыми, результаты расчетов представлены, например, в [1].

Так как скорости изменения температуры пылинок и гомогенных капель существенно различаются вследствие значительного отличия их размеров, для решения задачи используется двухтемпературная модель, в которой температура гомогенных капель равна температуре парогазовой смеси, а температура пылинок и жидкости на них отлична. В этой модели появляется дополнительный параметр (кроме радиуса пылинок и их массовой доли) — начальное переохлаждение пылинок, равное разности температур между газовой фазой и пылинками во входном сечении. Изменение этой величины позволяет управлять процессом конденсации, так как с ростом переохлаждения интенсивность конденсации на пылинках возрастает.

Обнаружено, что при определенных условиях слой жидкости на пылинках может испаряться. В этом заключается качественное отличие от однотемпературной модели, в которой испарение жидкости с пылинок отсутствует. В применявшейся ранее разностной схеме для кинетического уравнения не удается обеспечить сохранение количества пылинок при отрицательной скорости роста, поэтому на данном этапе используется моментный метод. В остальном результаты, полученные на базе различных моделей, качественно совпадают, хотя количественные различия могут быть значительными, так как интенсивность конденсации на пылинках резко снижается при росте их температуры, который имеет место в двухтемпературной модели по сравнению с однотемпературной.

В ходе дальнейшей работы планируется совершенствование модели, а именно реализация трехтемпературного приближения (температуры газовой фазы, гомогенных капель и пылинок отличаются друг от друга).

### **Литература**

1. **Корценштейн Н. М., Ястребов А. К.** Объемная конденсация в запыленном парогазовом потоке с учетом распределения пылинок по размерам // Коллоидный журнал, 2016. Т. 78, № 4. С. 444–449.



*И. С. Городнов, асп.; рук. В. И. Могорычный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ДИСКРЕТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 0.5–1.1 БАР**

Здесь представлена оригинальная система для дискретного измерения уровня жидкого  $^4\text{He}$ , применяемая для измерения уровня наполнения объёма сепаратора в криостате растворения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  жидким гелием. Система рассчитана на работу при давлении 0.5–1.1 бар в объёме сепаратора. Уровень измеряется дискретно, т. е. точно. Точки измерения наличия/отсутствия жидкого гелия расположены на различных высотах в объёме сепаратора. Каждая точка представляет собой датчик, регистрирующий находится ли он в жидкости или в газе.

Принцип работы датчика основан на подводе фиксированного количества тепла к чувствительному элементу и измерении изменения его температуры (в нашем случае сопротивления термометра сопротивления).

Плюсами системы являются:

1. Расположение всей измерительной аппаратуры снаружи объёма и, соответственно, ремонтпригодность и надёжность системы.
2. Возможность использования с различными криогенными жидкостями.
3. Простота, доступность и дешевизна датчиков (термометров сопротивления) и средств измерения (измерение сопротивлений).

Минусы такой системы:

1. Большое количество проводов: минимум (он же оптимум) 4 шт для каждой точки измерения уровня жидкости.
2. Дискретность измерения уровня по высоте.
3. Необходимость чередовать каналы (точки измерения), и, как следствие, — периодичность измерения уровня. Или необходимость измерения показаний сразу нескольких каналов.
4. Подвод небольшого количества тепла к объёму, в котором проводится измерение уровня при возбуждении нагревателя (2–5 сек.).

Иные системы измерения уровня имеют значительные недостатки по сравнению с предложенным методом для наших условий работы: невозможность провести ремонт без разгерметизации объёма (зачастую объёмы заварены, и не имеют возможности разборки), и, как следствие, ненадёжность; сложное, узкоспециализированное и дорогое измерительное оборудование (для ёмкостных уровнемеров).

### **Литература**

1. **Anton Dolzhikov, Ivan Gorodnov, Nicolai Borisov, Yury Usov.** A dilution cryostat for experiments with the polarized target. AIP Conference Proceedings 2163, 080003. DOI: 10.1063/1.5130118 22.10.2019.

*И. С. Серегин, студ.; рук. А. В. Бухаров, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОНОРСКОЙ ПЕЧЕНИ ОТ МОМЕНТА ИЗЪЯТИЯ ДО МОМЕНТА ТРАНСПЛАНТАЦИИ**

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. Одной из главной проблемой при пересадке органов является то, что почти все органы, в том числе сердце, печень и почки, живут крайне недолго вне живого тела. В среднем, их можно хранить даже при околонулевых температурах лишь несколько часов, после чего их пересадка станет опасной для пациента. Поэтому больше половины потенциальных трансплантатов сегодня выбрасывается в мусорный бак.

Учитывая важность работы рассмотрим следующие проблемы:

1. При простой заморозке органов и тканей в их клетках начинают формироваться кристаллы воды, в буквальном смысле «разрывающие» мембраны клеток и убивающие их
2. Замороженные ткани разогреваются неравномерным образом, в результате чего их клетки, и они сами в целом трескаются и разваливаются на части
3. На данный момент мало экспериментальных данных по теплофизическим параметрам органов.

Решение проблемы замораживания и размораживания органов нужны для того, чтобы увеличить хранение донорских органов, что повысило бы их эксплуатацию, и каждый орган доходил бы до своего трансплантата.

Расчет охлаждения донорской печени происходил с помощью пакета программ Phoenix.

### **Литература**

1. Лихванцев В. В., Мороз В. В., Гребенников и др. Ишемическое и фармакологическое preconditionирование. *Общая реаниматология* 2011; 6: 59–65.
2. Шумаков В. И., Штенгольд Е. Ш., Онищенко Н. А. Консервация органов. Под ред. акад. Петровского Б. В. М: Медицина; 1975.

М. И. Илизаров, студ.;  
рук. В. И. Могорычный, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

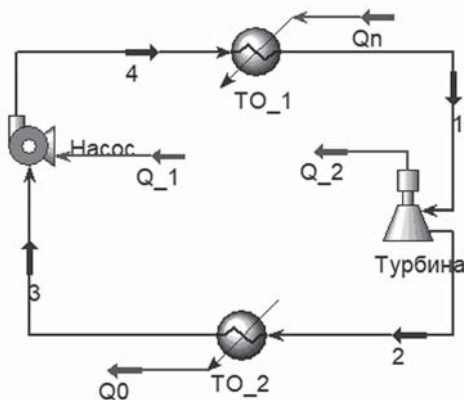


Рис. 1. Принципиальная схема установки

органический цикл Ренкина, который представляет из себя обычный цикл Ренкина, но в качестве рабочего вещества используется не вода, а подходящее органическое соединение, обычно фреон.

В данной работе описаны основные элементы установки, сделано сравнение и выбор рабочих веществ из расчета наибольшей эффективности и их пожаробезопасности. Выполнен подбор оптимальных значений работы цикла. Произведен подбор и расчет основных теплообменников. Рассмотрены варианты возможного улучшения энергоэффективности установки. Произведено сравнение полученных теоретических значений с полученными экспериментальными данными.

В настоящее время промышленность является основным потребителем как тепловой, так и электрической энергии. Но большая часть энергии просто выбрасывается в окружающую среду в виде тепла. Обычно это газы или жидкости, имеющие температуру до 300°C [1], такое тепло называется низкопотенциальным.

Для энергоэффективной утилизации тепла существует несколько вариантов, одним из которых является

### Литература

1. **Janie Ling-Chin** State-of-the-Art Technologies on Low-Grade Heat Recovery and Utilization in Industry // Energy Conversion. 2018. Chap. 4

**Секция 43**  
**НАНОТЕХНОЛОГИИ**  
**Nanotechnologies**

---

*Председатель секции:*

*д. т. н., профессор Дмитриев Александр Сергеевич*

*Секретарь секции: к. т. н. Макаров Петр Георгиевич*

А. В. Артамонов, студ.; рук. П. Г. Макаров, к.т.н., ст. преп.;  
конс. А. С. Дмитриев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

## БАЛАНС СИЛ, УДЕРЖИВАЮЩИХ КАПЛЮ В ЛЕВИТИРУЮЩЕМ СОСТОЯНИИ ПРИ ЭФФЕКТЕ ЛЕЙДЕНФРОСТА НА НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Во многих технических приложениях мы сталкиваемся с взаимодействием жидкости с перегретой твердой поверхностью. Если твердая поверхность нагрета выше определенной температуры, кипение происходит в пленочном режиме, что в случае с каплей выражается в возникновении эффекта Лейденфроста [1]. Однако, большинство работ посвящено эффекту Лейденфроста на однородной поверхности, настоящее же исследование посвящено поведению капель на сильно перегретых металлических струнах, а именно оценке сил, поддерживающих каплю в левитирующем положении.

Взаимодействие капли воды, паровой подушки и нагретых металлических струн рассмотрим по следующей схеме:



Рис. 1. Принимаемая модель: а) схема взаимодействия капли со струнами; б) направления векторов сил, поддерживающих каплю в левитирующем положении

Баланс сил обеспечивается тем, что сила тяжести, действующая на центр масс капли, должна уравновешиваться результирующей подъемной силой (рис. 1 а):

$$\vec{F} = -m \cdot \vec{g}$$

Для нахождения значения результирующей силы мы воспользовались правилом параллелограмма согласно рисунку 1 б. В результате было получено выражение для оценки силы, действующей со стороны одной струны и поддерживающей каплю в левитирующем состоянии:

$$\vec{F}^s = \frac{\vec{F}}{2 \cos \alpha}$$

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 17-19-01757

### Литература

1. Джерл Уокер. Кипение и эффект Лейденфроста; Государственный Университет Кливленда, 1994.

*А. П. Игнащенко, студ.;*  
*рук. В. П. Афанасьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Работа посвящена проблеме поиска сечения неупругого рассеяния элементов на основе результатов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Рассмотрены наиболее распространенные аллотропные формы углерода, являющиеся объектами данного исследования. Сформирована методика анализа спектров материалов для определения формы присутствующего в их составе углерода.

Был проведен анализ спектров РФЭС различных образцов, на основе которых сделаны выводы об аллотропной форме углерода содержащегося в исследуемых образцах.

Для полного описания поведения электронов наиболее важным параметром является функция потери энергии (ELF). Для описания ELF была использована модель осциллятора Друде-Линдхарда [1].

Для описания числа фотоэлектронов, не потерявших энергию, необходимо учесть асимметрию и перегибы, возникающие вблизи пика из-за взаимодействия фотоэлектрона с большим количеством свободных электронов. Для этих целей использовалась функция Дониака-Суинича (Д-С) [2].

### **Литература**

1. **N. Pauly, M. Novák and, S. Tougaard.** Surface excitation parameter for allotropic forms of carbon // Wiley Online Library: 12 September 2012.
2. **S. Hofmann.** Auger- and X-Ray Photoelectron Spectroscopy in Materials Science. A User-Oriented Guide // Berlin, Springer, 2013. стр. 55–56.

*Е. Д. Матвеев, студ.; рук. П. Г. Макаров к.т.н., ст.п. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ПРЫГАЮЩИХ ПУЗЫРЕЙ» С ТВЕРДЫМИ МЕЗОСКОПИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ ПЛАСТИКОВ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Работа была посвящена изучению влияния различных факторов на протекание эффекта «прыгающих пузырей». Эффект «прыгающих пузырей» отличается от известных процессов кипения, где материал пористой среды всегда неподвижен относительно движущейся жидкости и пузырьков пара [1], тем, что в процессе кипения принимают участие три фазы — жидкость, пар и твердые микросферы [2]. В настоящей работе изучалось влияние объема жидкости, содержание растворенного газа в воде, материала и типа засыпки гранул на эффект «прыгающих пузырей».

Установлено, что характерные типы взаимодействия комплекса «пузырь + гранула» отличаются в зависимости от материала гранул, и от того использовались ли гранулы только одного материала или нескольких. Так для PVC это небольшое количество комплексов «одиночный пузырь+гранула», а для PET — множественные вытянутые структуры, состоящие из множества пузырей и гранул. Также установлено, что эффект быстрее проявляется при больших объемах жидкости с наибольшим содержанием газа. Было проведено сравнение температуры наступления и протекания различных стадий эффекта в зависимости от материала засыпки гранул, так режим «прыгающего» кипения наступает при меньшей температуре при засыпке только PET-гранул. А наиболее интенсивное его протекание в широком диапазоне температур происходит при одновременном использовании гранул из разных материалов. Практическое применение эффекта может быть полезно в области энергетике, например для ускорения кипения жидкостей, а в области сохранения водных ресурсов — для термофлотации.

### **Литература**

1. **Ковалев С. А., Соловьев С. Л.** Испарение и кипение в тепловых трубах. М.: Наука, 1989. 111 с.
2. **Эльбуз Мустафа Али.** Исследование процессов тепломассообмена при испарении и кипении в простых и мезоскопических системах монодисперсных микросфер и мезотрубок; Издательство МЭИ, 2015.

*Е. С. Федотова, студ.; рук. П. Г. Макаров, к.т.н., ст. п. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ И ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Данная работа посвящена исследованию оптических свойств различных средств для защиты, экранирования от радиационных лучей, в частности ультрафиолетовых солнечных лучей. Потому что, как бы ни хотелось, все имеет свои плюсы и минусы. Так же и с излучением. Да, мы много от него получаем и пользу для здоровья человека и пользу в энергетике и в медицине, но также оно достаточно вредно в количествах, превышающих определенную норму.

В первую очередь необходимо произвести сравнение эффективности фильтрования излучения исследуемых средств. С этой целью суспензии наносились на предварительно очищенные и обезжиренные стеклянные подложки и помещались в экспериментальную установку. Далее конструкция помещалась в держатель, где через нее проходил луч света от источника по оптоволокну и, пройдя сквозь образец, попадал в спектрофотометр, регистрирующий изменение коэффициента пропускания, по которому анализировалась поглощающую способность средства.

Как показало исследование, что очень много факторов влияет на пропускание лучей. Это зависит и от структуры средства и внесения добавок различного происхождения в них, так же от физических факторов таких, как толщина, прозрачность и равномерность нанесения. Некоторые заявленные показатели не соответствуют действительности, что зависит от структуры средства. Также, в большинстве образцов, в зоне ближнего ультрафиолета (350 нм) при любой толщине происходит почти полная фильтрация УФ-излучения, а в зоне видимого спектра с увеличением длины волны фильтрация уменьшается, но в целом коэффициент пропускания уменьшается с увеличением толщины. В инфракрасной области фильтрация происходит не во всех случаях, как правило, в дальней зоне фильтрация уменьшается почти до нуля и много шумов из-за внешнего излучения. Как было обнаружено, добавки компонент также влияют на показатели фильтрации. Из этих экспериментальных сведений было установлено, что чем натуральней добавка и меньше размерность ее частиц, тем лучше выполняется цель, а именно выполняется защита материала, а также человека, от вредного излучения.



*Д. Д. Бабенко, асп.; рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЦЕССЫ СМАЧИВАНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ АЛЛОТРОПНЫХ МОДИФИКАЦИЙ УГЛЕРОДА**

В данной работе представлены исследования в области теплофизики поверхностей функциональных термоинтерфейсных материалов (ТИМ) [1–4]. Проведены измерения контактных углов для композитных материалов на основе аллотропных модификаций углерода и меди в форме запрессованных таблеток диаметром 2 дюйма. В работе использовались образцы как графена, так и графита с включенной в их структуру медной сеткой с шагом 0,3 мм. Получены новые экспериментальные данные по изучению и анализу гидродинамических и теплофизических свойств различных термоинтерфейсных материалов, включая эффект Лейденфроста.

Одна из основных целей работы — изучение свойств термоинтерфейсных материалов для интенсификации теплообмена и повышения эффективности систем охлаждения в микроэлектронике и сильноточной электронике. Физико-химические и термогидродинамические свойства такого рода поверхностей важны для более эффективного сброса тепла в системах охлаждения, использующих капельный метод охлаждения.

В работе содержатся методики, схемы экспериментальных установок и результаты исследований материалов (ТИМ) и их свойств. В качестве рабочей жидкости использовалась вода.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

### **Литература**

1. **Дмитриев А. С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Babenko D & Dmitriev A & Mikhailov V & Mikhailova I. (2018).** Physical features of Leidenfrost effect on the surface of a graphene nanocomposite for the problems of thermal and nuclear energy. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 447. 012044. 10.1088/1757-899X/447/1/012044.
3. **Kafil M. Razeeb, Eric Dalton, Graham Lawrence William Cross & Anthony James Robinson.** Present and future thermal interface materials for electronic devices, International Materials Reviews, 2017 DOI: 10.1080/09506608.2017.1296605
4. **Babenko D & Dmitriev A & Mikhailova I. (2020).** Thermohydrodynamic processes of droplet evaporation and boiling on functional nanomaterials surfaces. Journal of Physics: Conference Series. 1565. 012010. 10.1088/1742-6596/1565/1/012010.

*Д. Д. Бабенко, асп.; А. В. Артамонов, студ.;  
рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПАРЕНИЯ И ЭФФЕКТА ЛЕЙДЕНФРОСТА НА СТАЛЬНЫХ СЕТКАХ**

В данной работе представлены исследования в области теплофизики и гидродинамики на прерывистых поверхностях [1–2]. Проведены измерения температур Лейденфроста для различных рабочих жидкостей на поверхности стальной сетки, с добавлением в некоторых опытах графеновых хлопьев под стальной сеткой. В работе использовалась стальная сетка с шагом 0,025 мм. Сетка зажималась в каркас из стальных шайб с внутренним диаметром 20 мм на высоте 6 мм от нагревателя. Пространство между сеткой и нагревателем в экспериментах заполнялось различным количеством воздуха и графена. Получены новые данные по температуре Лейденфроста для различных рабочих жидкостей, их зависимость от вещества, заполняющего пространство под сеткой, и исследованы особенности испарения на такого рода поверхностях.

Одна из основных целей работы — изучение особенностей процессов испарения на неоднородных поверхностях, т.к. характер испарения сильно отличается от таких же экспериментов на однородных поверхностях. Изменение температуры Лейденфроста для различных по морфологии поверхностей также является важной задачей для интенсификации теплообмена и повышения эффективности систем охлаждения в микроэлектронике и силовой электронике.

В работе содержатся методики, схемы экспериментальных установок и результаты исследований материалов и их свойств. В качестве рабочих жидкостей использовались: вода, 50% водный раствор этилового спирта, этиловый спирт, ацетон, специальная охлаждающая жидкость 3M Novac 7100.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

### **Литература**

1. **Дмитриев А. С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Nicasio R. Gerald, Glen McHale, Ben B. Xu, Gary G. Wells, Linzi E. Dodd, David Wood, Michael I. Newton,** Leidenfrost transition temperature for stainless steel meshes, *Materials Letters*, Volume 176, 2016, Pages 205–208, ISSN 0167-577X, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.04.124>.
3. **Dmitriev, Alexander.** (2019). Hybrid Graphene Nanocomposites: Thermal Interface Materials and Functional Energy Materials. 10.5772/intechopen.89631.

*А. А. Дмитриев, асп.;*  
*рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ СПЛАВОВ НА БАЗЕ ГАЛЛИЯ И ГРАФЕНА И СОПОСТАВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Жидкометаллические сплавы, являются перспективным вариантом для использования в качестве термоинтерфейсов [1]. В нашей работе мы разрабатывали технологии получения сплавов галлия с графеновыми нанохлопьями и сопоставляли теплопроводность полученных материалов.

Цель нашего исследования состояла в том, чтобы подобрать оптимальную технологию для получения жидкометаллического сплава с графеновыми частицами. Были использованы три основных варианта технологий: механическое размещение графена в расплаве [2], смешивание галлия и графена в различных растворителях и размешивание галлия и графена в вакууме.

В качестве основы сплавов использовался галинстан. Механическое размешивание галинстана и графена позволило получить устойчивый сплав. Однако, его теплопроводность оказалась меньше ожидаемой, согласно работе [3]. Процесс с растворителем не дал результатов. При попытке перемешать графен с галлием в среде дистиллированной воды, вода вступает в реакцию с галинстаном. Органические растворители имеют более высокую адгезию к графену, чем галинстан, что не позволяет получить искомый сплав. Наилучших результатов удалось добиться при получении сплава в вакууме при помощи механического перемешивания. Теплопроводность образцов была измерена. Результаты из разных серий экспериментов были сопоставлены между собой.

Работа поддержана РФФИ (проект № 17-19-01757).

### **Литература**

1. **J. Xu, Y. Li, C. Chang.** Excellent thermal performance of gallium-based liquid metal alloy as thermal interface material between aluminum substrates. Appl. Thermal Engineering, 2019, 114649.
2. **W. Dai, T. Ma, J. Gao** et al. Metal-level thermally conductive yet soft graphene thermal interface material. ACS Nano. 2019. 13, 11561–11571.
3. **K. Jagannadhan.** Thermal Conductivity of Indium–Graphene and Indium–Gallium–Graphene Composites. Journal of ELECTRONIC MATERIALS, Vol. 40, No. 1, 2011

*Г. В. Веткин, студ.; рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УЛУЧШЕНИЯ НАГРЕВА НАНОЖИДКОСТИ СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

С каждым годом все больший интерес представляет возобновляемая энергетика, в особенности солнечная. Рынок солнечной тепловой энергетике растет, но увеличение эффективности преобразования энергии происходит медленно. Использование наночастиц и наноматериалов, которые уже показали свои удивительные свойства и возможности применения, в частности, добавление небольшого количества наночастиц в рабочую жидкость может существенно улучшить ее свойства, как эффективного поглотителя солнечного излучения и рабочей жидкости для отвода тепла [1,2].

Целью данной работы являлось изучение улучшения нагрева жидкости солнечным излучением при добавлении наночастиц. Базовой жидкостью выступала дистиллированная вода. Для каждого опыта проводился нагрев жидкости имитатором солнечного излучения с фиксацией температуры жидкости в равные промежутки времени. Было также проведено исследование ослабления интенсивности света в наножидкости при помощи спектрометра для более глубокого анализа полученных результатов. Исследуемые частицы:  $\text{TiO}_2$  (17 нм), наноалмазы (8–12 нм), графеновые нанохлопья (ширина 5–20 мкм, толщина 3–5 нм); концентрации — в диапазоне 0.5% и 1% (по массе).

Установлено, что наноалмазы хорошо поглощают свет в видимом спектре, особенно вблизи ультрафиолета. Диоксид титана имеет схожий с наноалмазами спектр, но с большим пропусканием в области ближнего ультрафиолета. Для графена происходит общее поглощение на всем видимом спектре, а также ближней ИК области. Данные результаты согласуются с тем, что при использовании этих наночастиц происходит улучшение нагрева воды имитатором солнечного излучения. Более быстрый нагрев происходит при добавлении наночастиц графена и наноалмазов. Работа поддержана грантом РФФИ (№ 17-19-01757).

### **Литература**

1. **А. С. Дмитриев, А. В. Клименко.** Преобразование солнечного излучения в пар — новые возможности на основе наноматериалов (обзор). ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2020, № 2, с. 1–16.
2. **Hussein A. K., Dong L., Lioua K., Sanatana K., Brundaban S.** A review of Nano Fluid Role to Improve the Performance of the Heat pipe Solar Collectors // Energy Procedia. 2017. vol. 109, 417–424.

*А. В. Федотова, студ.; рук. И. А. Чмутин, к.ф.-м.н., доцент  
(МГУДТ им. Косыгина, г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АНТИМИКРОБНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА**

Модификация полимеров позволяет менять или дополнять первоначальные свойства материала. Этот процесс дает возможность направленно влиять на его конечные свойства и параметры. В настоящее время в связи с увеличивающимся спросом на высококачественные синтетические материалы проблема модификации уже известных полимеров приобретает большую актуальность.

Материалы с антибактериальными свойствами находят применение в разных сферах человеческой жизни, в том числе и в ортопедии. Для сохранения гигиены в местах соприкосновения с кожей продукция должна обладать антимикробным эффектом. Вследствие контакта с кожей человека и большой продолжительности периода ношения ортопедических изделий на поверхности и порах могут развиваться микроорганизмы, способные вызывать грибок и воспалительные процессы у человека, а также привести к биодеструкции материала.

На базе ортопедического предприятия ООО «ПРОП МП «ОРТЕЗ», занимающегося изготовлением продукции для лечения, коррекции и профилактики заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы, была впервые разработана методика модификации комбинированного композиционного материала на основе полиуретана наноразмерными частицами диоксида титана и четвертичными аммониевыми солями. Благодаря используемому модификаторам изделия из такого материала проявляют антибактериальные свойства.

Личный вклад автора заключается в обосновании выбора объектов исследования и методических подходов, проведении научных исследований, в обработке и анализе полученных данных, формулировании выводов по работе. В ходе исследовательской работы было показано, что материалы обладают хорошей совместимостью с модифицирующими добавками. Модификаторы придают изделиям антибактериальные свойства, подавляя размножение бактерий, делая получаемый материал безопасным для человека, а также потенциально коммерчески успешным в разных производственных сферах, особенно в медицине.

*С. С. Журавлёв, студент;  
рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ГРАФЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ УСТРОЙСТВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

В настоящее время микроэлектронные устройства стремительно развиваются. Вместе с ними таким же темпом растет теплонапряженность различных элементов данных устройств, вследствие чего необходимо подобрать эффективную систему охлаждения. Помимо этого, необходимо преодолеть термическое сопротивление между тепловым стоком и активным тепловыделяющим элементом, что решается с помощью многокомпонентных материалов, называемых термоинтерфейсами, состоящими из базового материала и наполнителя, внедренного в него [1–3].

Одна из основных целей работы — изучение свойств термоинтерфейсных материалов, созданных на базе графена, а также изучение свойств существующих термоинтерфейсных материалов при модификации их графеном для интенсификации теплообмена и повышения эффективности систем охлаждения в микроэлектронике, силовой электронике и оптоэлектронике.

В данной работе представлены исследования в области теплофизики функциональных термоинтерфейсных материалов (ТИМ). Проведены измерения теплопроводности для различных нанокompозитных материалов, включая как существующие модифицированные графеном ТИМ, так и новые ТИМ на базе графена. Получены новые экспериментальные данные по теплофизическим свойствам различных термоинтерфейсных материалов.

В работе содержатся методики, схемы экспериментальных установок и результаты исследований материалов (ТИМ) и их свойств.

Работа поддержана грантом РФФИ (№ 17-19-01757).

### **Литература**

1. **Дмитриев А. С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Ногин Д. А.** Теплопроводная паста с наноразмерным наполнителем для LED светильников повышенной мощности / Ногин Д. А., Салов А. В., Шишкин Р. А., Елагин А. А., Баранов М. В., Бекетов А. Р., Кудякова В. С., Стоянов О. В. // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — № 16, том 17. — С. 92–96.
3. **Prasher. R.** Thermal Interface Materials: Historical Perspective, Status, and Future Directions // Proc. IEEE, 2006. v. 94.

*Д. С. Сухов, студ.; рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доцент  
(НИУ «МЭИ»); конс. И. О. Тепляков, к.т.н., н.с. (ОИВТ РАН)*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КАПЛИ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ ПАРОВОГО ВЗРЫВА**

В настоящее время нет четкого описания механизмов, приводящих к тонкой фрагментации находящихся в воде горячих капель при коллапсе окружающих их паровых оболочек охладителя. Такое явление играет ключевую роль в развитии парового взрыва — сложного теплофизического процесса, понимание механизма протекания которого способствует предотвращению тяжелых аварий в атомной энергетике, в химической и металлургической промышленности. Помимо высокоинтенсивных импульсов давления паровые взрывы сопровождаются образованием фрагментов расплава, скорость охлаждения которых в зависимости от размера разлетающихся при взрывной фрагментации частиц может достигать  $10^8$  К/с и выше.

Цель исследования — определение параметров металлической капли, левитирующей в коническом индукторе с противовитком. Расплавленная капля погружается в жидкость, где она фрагментирует, что приводит к взрывному вскипанию.

Индуктор представлен в виде конической винтовой линии, а ее уравнение задано параметрически. Значения напряженности магнитного поля рассчитываются по закону Био-Савара-Лапласса.

Магнитное поле индуктора задается таким образом, что сила, создаваемая полем, компенсирует силу тяжести.

Предполагается использовать полученные данные для расчета плотности тока и энергии в шаре и провести вычисления оптимальных значений тока и частоты индуктора для нагрева металлической капли.

### **Литература**

1. В. Г. Жилин, Ю. А. Зейгарник, Ю. П. Ивочкин, А. А. Оксман, К. И. Белов / Экспериментальное исследование характеристик взрывного вскипания недогретой воды на горячей поверхности при смене режимов кипения // ТВТ. 2009. Т. 47. № 6. С. 891–898.
2. Yu. A. Zeigarnik, Yu. P. Ivochkin, A. P. Kryukov, Yu. Yu. Puzina, K. I. Belov // Pressure pulsations during the growth and collapse of vapor cavities in a subcooled liquid // Proc. of 5th European Thermal Science Conf. Eindhoven, The Netherlands, 2008. Paper TPF-16
3. А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова / Физико-химия наноструктур. Изд-во МЭИ, 2013. — 240 стр.

*А. С. Николаев, студ.; рук. А. С. Дмитриев, д.т.н., профессор  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ НАНОКОЛЛОИДОВ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДЛОЖКАХ**

Испарение коллективов капель нанокolloидов ещё недостаточно хорошо изученная тема из-за того, что наличие соседних капель делает аналитический подход более сложным по сравнению с испарением одиночной капли. Может наблюдаться ситуация, когда аналитического решения проблемы коллективного испарения не существует. Взаимный эффект, вследствие которого соседние капли оказывают друг на друга влияние, называется «коллективным эффектом», был подробно изучен для сферических капель внутри спреев. Коллективные эффекты испарения оказывают серьёзное влияние на различные процессы в нанофотонике, струйной печати, биомолекулярном анализе и секвенировании ДНК.



**Рис. 1.** Коллектив капель дистиллированной воды на стеклянной подложке

Цель настоящей работы — исследование процесса испарения коллективов капель нанокolloидов на горизонтальной поверхности «вверх тормашками». Основная задача — определение параметров испарения капель нанокolloидов: контактный угол, контактная линия, высота, объём и скорость испарения. А также сравнения данных параметров с аналогичными при нормальных условиях.

Исследование процессов испарения коллоидных капель проводилось при помощи различных методик: скоростная видеосъемка, анализ в оптической и электронной микроскопии морфологии получающихся отложений. Проведены исследования закономерностей испарения массивов капель, что важно для разработки перспективных технологий 2D и 3D печати на гибких подложках

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

### **Литература**

1. **J. Freed-Brown.** Evaporation deposition in receding drops. *Soft matter*, 2014, 10, 9506–9510
2. **A. J. Shah, Y. Sun, X. Yang, V. Chhasatia.** Coalescence evaporation and particle deposition of consecutively printed colloidal drops. *Soft Matter*. 2012, 8, 9205



А. Н. Колкий, студ.; рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## КОНТРОЛИРУЕМОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПЛЁНОК SiO<sub>2</sub> В ПЛАЗМЕ ФРЕОНА

Благодаря уникальным электрофизическим свойствам, SiO<sub>2</sub> широко применяется в изготовлении фотоприёмных устройств (ФПУ). Плёнки SiO<sub>2</sub> получают путём термического окисления кремния, физического осаждения и термического разложения кремнийсодержащих растворов. Во всех методах получения плёнок SiO<sub>2</sub> возникает проблема переосаждения, поскольку процессы зависят и от внутренних факторов (сторонние примеси), и от внешних (температуры и влажности окружающей среды).

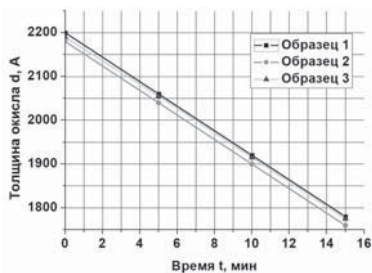


Рис. 1. Зависимость толщины пленки оксида кремния от времени травления

исследования привели к выводу, что контролируемое травление плёнок SiO<sub>2</sub> в плазме CF<sub>4</sub> пригодно для достижения необходимых толщин для использования в технологии ФПУ. Часть полученных результатов приведена на рис. 1.

Цель исследования — определение контролируемого режима травления SiO<sub>2</sub> в плазме фреона (CF<sub>4</sub>) для получения плёнок необходимой толщины в технологии ФПУ. Объектом исследования стали плёнки SiO<sub>2</sub>, полученные термическим разложением тетраэтоксисилана при температуре 840°C толщиной 205–220 нм, на подложках кремния и германия.

В представленной работе содержатся методики и схемы экспериментальных установок по получению и анализу физико-химических свойств плёнок. Проведённые

### Литература

1. Берлин Е., Двинин С., Сейдман Л. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. — М.: Техносфера, 2007. — 176 с.
2. Киреев В., Столяров А. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. — М.: Техносфера, 2006. — 190 с.
3. Баграков А. А., Михайлова И. А. Исследование физико-химических свойств наноструктурированных материалов. Часть 2: учебное пособие по курсу «Физикохимия наночастиц и наноматериалов». — М.: Издательство МЭИ, 2017 г. — 80 с.

*М. Р. Веретенников, студ.; Е. А. Данилов конс. (АО «НИИграфит»);  
рук. И. А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СРЕДЫ ПОЛИОЛЬНОГО СИНТЕЗА НА РАЗМЕРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЧАЕМЫХ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА**

Одним из перспективных способов получения тонких прозрачных проводящих пленок является применение для их формирования наностержней серебра, отличающихся высокой проводимостью при низком эффективном заполнении поверхности, что позволяет получать прозрачные и полупрозрачные покрытия с удовлетворительными электрофизическими характеристиками [1]. Подобные пленки рассматриваются в качестве возможной альтернативы используемым в промышленности электродам на основе оксида индия-олова (ITO).

Для синтеза серебряных наностержней использовали получивший широкое распространение в последние годы так называемый полиольный метод получения наночастиц благородных металлов [2].

Цель исследования — изучение влияния среды и условий синтеза, в многоатомных спиртах (этиленгликоль, диэтиленгликоль), на размер получаемых частиц и электрические характеристики суспензий. Установление оптимальных параметров синтеза для получения суспензий с высокой электропроводностью.

В работе содержатся снимки серебряных наночастиц полученные с использованием сканирующей электронной микроскопии, приведены графики зависимости размеров получаемых частиц от температуры синтеза, среды синтеза и соотношения поливинилпирролидона к нитрату серебра ( $\text{AgNO}_3$ ). Определены значения электропроводности полученных суспензий.

### **Литература**

1. **Luo M., Liu Y., Huang W., Qiao W., Zhou Y., Ye Y., Chen L.-S.** Towards Flexible Transparent Electrodes Based on Carbon and Metallic Materials // *Micromachines*. 2017. 8 (1). P. 12.
2. **Yang C., Tang Y., Su Z., Zhang Z., Fang C.** Preparation of Silver Nanowires via a Rapid, Scalable and Green Pathway // *J. Mater. Sci. Technol*. 2015. 31 (1). P. 16–22.

**Направление IX**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**  
**Thermal power engineering**

---

**Руководитель направления:**

д.т.н., член-корр. РАН Дедов Алексей Викторович —  
директор института тепловой и атомной  
энергетики НИУ «МЭИ»

**Секция 44**  
**КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**  
**И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**  
**Boiler installations and environment protection**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Тупов Владимир Борисович*

*Секретарь секции: к.т.н. Каверин Александр Александрович*

*А. Д. Гусев, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ПАРОВОГО ВЫБРОСА НА ТЭЦ**

Снижение шума от паровых выбросов на ТЭЦ является актуальной задачей, так как они являются частью технологических процессов. При этом выбросы пара энергетических котлов в атмосферу являются наиболее интенсивными, хотя и кратковременными, источниками шума как для территории предприятия, так и для окружающего района. Выбросы пара имеют место при продувах пароперегревателей, растопках котлов, подрывах главных предохранительных клапанов и предохранительных клапанов промперегрева, РОУ, БРОУ и др. [1,2].

Определены уровни звуковой мощности от паровых выбросов котлов, которые используются на ТЭЦ ПАО Мосэнерго. Проведен анализ уровней звуковой мощности для различных типов котлов. Проведены расчеты уровней звукового давления на расстоянии 300 и 500 м от ТЭЦ, которые соответствуют расстоянию санитарно-защитной зоне. Показано, что в процессе сбросов пара происходит временное превышение уровня звука на 30–40 дБА в радиусе нескольких километров. Поэтому эксплуатация энергетических котлов невозможна без использования паровых глушителей.

Проведен анализ различных типов паровых глушителей [2, 3]. Основными принципами при их разработке являются последовательное увеличение проходных сечений; равномерность распределения скорости по проходному сечению; достижение атмосферного давления в потоке до выходного сечения. Признаком наиболее эффективного глушителя являются его высокие удельные характеристики, позволяющие достигать максимального акустического эффекта при минимальном весе глушителя и максимальном расходе пара через него, а также возможность использования глушителя для снижения шума выбросов в атмосферу перегретого и влажного пара, природного газа и др. Из проведенного обзора, даны рекомендации по использованию определенных конструкций паровых глушителей для паровых котлов ПАО Мосэнерго.

### **Литература**

1. **Тупов В. Б.** Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
2. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: Издательство МЭИ, 2012.
3. **Тупов В. Б., Тараторин А. А.** Новые паровые глушители МЭИ // Электрические станции № 6, 2015.

*Е. С. Аристов, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ГТУ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

В настоящее время газотурбинные установки (ГТУ) средней мощности находят все более широкое распространение. К ГТУ средней мощности относятся установки мощностью приблизительно от 16 до 60 МВт. К преимуществам ГТУ относятся возможность быстрого монтажа, их экономичность и компактность оборудования. Газотурбинные установки средней мощности часто используются для покрытия максимума нагрузки в электрических системах. Также их используют на газоперекачивающих станциях. Эксплуатация газотурбинных установок, в том числе и средней мощности, связана с повышенным шумоизлучением [1].

В настоящей работе уделено основное внимание шуму от выхлопных трактов ГТУ. Для этого проведены акустические расчеты в окружающем районе от шума выхлопных трактов газовых турбин следующих марок: SGT-700, SGT-800, T32-1.

Шум выхлопного тракта ГТУ средней мощности обусловлен процессом горения, высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока.

Расчеты уровней звукового давления (УЗД) проведены по методике [2] от различных газотурбинных установок средней мощности в окружающем районе на расстоянии 300 и 500 м от них. Эти расстояния соответствуют ширине санитарно-защитных зон станций с ГТУ. Показано, что в зависимости от расстояния и количества ГТУ превышение санитарных норм [3] может составлять десятки децибел.

Для снижения шума, излучающегося от выхлопных трактов ГТУ средней мощности, проведен обзор различных глушителей. Глушители выхлопных трактов должны обеспечить не только требуемое снижение уровня шума, но иметь минимальное аэродинамическое сопротивление, а также надежно эксплуатироваться при высоких температурах в потоке выхлопных газов.

### **Литература**

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1993).** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчёта. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2007.
3. **СН 2.2.4/2.1.8.562-96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

*Н. Е. Фоменко, асп.; рук. В. Б. Прохоров к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ВИХРЕВОЙ СХЕМЫ СЖИГАНИЯ КУЗНЕЦКОГО УГЛЯ ДЛЯ КОТЛА М-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ НА УЛЬТРАСВЕХКРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПАРА\***

Сегодня мировая и российская энергетика стремится к сокращению использования угля для производства электроэнергии, однако, в будущем его весомая доля сохранится в топливном балансе. В связи с экологическими и экономическими факторами, угольная генерация для поддержания конкурентоспособности вынуждена использовать технологии для уменьшения выбросов CO<sub>2</sub> (технологии HELE). Одной из технологий является использование угольного паротурбинного цикла на А-USC параметры пара. Главной проблемой массового внедрения угольных станций на А-USC параметрах является необходимость в использовании никелевых сплавов для главных паропроводов, стоимость которых в 10 раз больше стоимости хромомолибденовых сталей, применяемых для USC [1], что приводит к большим капитальным затратам на строительство энергоблока. Уменьшение капиталовложений возможно при использовании котла с компоновкой, при которой длина паропроводов свежего пара будет минимально возможной. Кафедрой ТЭС НИУ МЭИ предложена М-образная компоновка котла на А-USC параметры пара с инвертной топочной камерой и проведены исследования с целью нахождения наиболее оптимальной схемы сжигания Кузнецкого тощего угля. Полученная схема сжигания представляет собой двухъярусное размещение горелок по встречно-смещенной схеме.

Проведен тепловой и позонный расчеты топочной камеры для предложенной схемы сжигания, что позволило определить распределение температур по высоте топочной камеры. Результаты позонных тепловых расчетов дали хорошее совпадение с результатами численного моделирования, проведенного с использованием программного комплекса ANSYS позволяют рассчитывать, что предложенная схема вихревого сжигания Кузнецкого угля обеспечит надежное и эффективное сжигание топлива.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение 16-19-10463П)*

### **Литература**

1. **Рогалёв Н. Д., Голодницкий А. Э., Тумановский А. Г.** Состояние разработок в области создания угольных паротурбинных электростанций с параметрами пара, превышающими 30.5 МПа и 700°C // *Электрические станции.* — 2013. — № 3. — С. 12–21

А. Б. Мухаметов, студ.; рук. А. А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ШУМА В ДИССИПАТИВНЫХ ГЛУШИТЕЛЯХ В ANSYS

Широкое распространение в энергетике получили пластинчатые диссипативные глушители. При разработке глушителей необходимо обеспечить требуемую акустическую эффективность во всем диапазоне рассматриваемой полосы частот и минимальное аэродинамическое сопротивление [1]. В работе представлены результаты моделирования с целью определения акустической эффективности пластинчатых диссипативных глушителей в программном обеспечении Ansys ACT Acoustic. Для выполнения математического моделирования и оценки затухания шума использована важнейшая характеристика диссипативных глушителей — коэффициент звукопоглощения, который определяется пористостью звукопоглощающего материала, его плотностью и геометрическим расположением пластин в канале установки глушителя [2].

По результатам моделирования получены графики снижения уровней звукового давления в глушителях толщиной пластин 100–400 мм для среднегеометрических частот 31,5–8000 Гц. На рис. 1 представлены графики сравнения расчетной и экспериментальной акустической эффективности глушителя с пластинами толщиной 150 и 200 мм. Максимальная разница затухания шума для пластин толщиной 150 мм составляет 1,8 дБ на частоте 1000 Гц; для пластин толщиной 200 мм — 1,5 дБ на частоте 500 Гц. Такое расхождение является приемлемым и подтверждает возможность использования программных средств для моделирования глушителей сложных форм, затухание в которых не может быть определено по известным расчётным формулам.

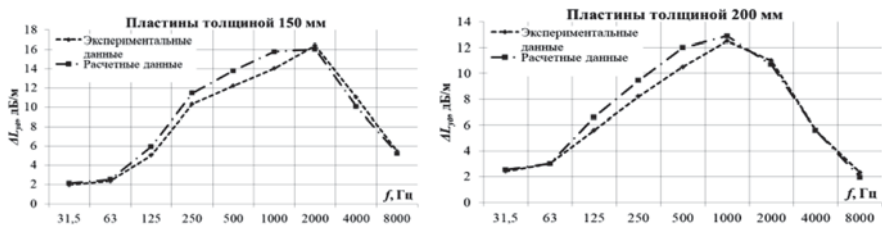


Рис. 1. Сравнение расчетных и экспериментальных данных

### Литература

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Тараторин А. А., Мухаметов А. Б.** Анализ эффективности диссипативных глушителей сложных форм // Пятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания» (АСО-2020), 24 апреля 2020, г. Москва. С. 159–170.



*С. А. Кузьминова, асп.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЗОПРОВОДОВ ПОСЛЕ ГРП**

Газорегуляторные пункты и газопроводы после них являются одними из интенсивных источников шумового загрязнения на тепловых электрических станциях. Шум от ГРП на выходе газопровода может достигать 110 дБА, что значительно превышает действующие санитарные нормы в 80 дБА [1]. При этом шум от ГРП является постоянным источником, а шум от газопроводов изменяется по всей его длине и газопровод может располагаться на разной высоте над землей [2].

Исследования, проведенные в [2] и [3], позволяют сделать вывод, что для эффективного снижения шума от ГРП и газопроводов после него требуется комплекс мероприятий, включающий совместное использование звукоизоляции газопровода и установку акустических экранов.

Звукоизоляция газопроводов относится к строительно-акустическим методам борьбы с шумом. Одной из особенностей газопровода является то, что температура газа в нем является постоянной в течение года и не поднимается выше 1–6 градусов по Цельсию. В связи с этим в летнее время может возникнуть проблема, связанная с возникновением конденсата между трубопроводом и звукоизоляцией. Это приводит к коррозии металла газопровода и ухудшает звукоизоляционные свойства материала.

В работе проведен анализ существующих звукоизоляционных материалов, имеющих подходящие характеристики для газопроводов ГРП. В результате анализа определена проблемная область, связанная с отсутствием критерия, который бы однозначно выделил преимущества одного материала перед другим. Произведено сравнение различных типов и видов звукоизоляционных материалов в зависимости от фирмы, толщины изоляции и стоимостных характеристик. Рассчитаны удельные затраты различных видов звукоизоляции на единицу снижения уровня шума.

### **Литература**

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.
2. Кузьминова С. А., Тупов В. Б. Акустическая эффективность экранов для снижения шума от газораспределительных пунктов и их газопроводов // Вестник МЭИ. 2020. № 3.
3. Кузьминова С. А., Тупов В. Б. Метод обоснования мероприятий по снижению шума от газопроводов после газораспределительного пункта // Электрические станции. 2020. № 7.

*А. Д. Титов, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ SGT 5-4000F**

При работе энергетического оборудования, в том числе от газотурбинного установок, имеют место факторы физического воздействия, которые негативно действуют на организм человека. К ним относятся шум, вибрация и электромагнитное излучение. Снижение неблагоприятных факторов, в том числе в энергетике, следует рассматривать при решении комплекса проблем для предотвращения нарастающего экологического кризиса современной техногенной цивилизации [1]. При этом шум от газотурбинных установок играет наиболее важную роль.

Целью данной работы является оценка уровней шума при работе газовой турбины SGT 5-4000F в составе ПГУ на рабочих местах и в окружающем районе, проверка соответствия этих уровней допустимому и разработка мер снижению шума.

Работа энергоблока ПГУ предусматривает по схеме утилизационной парогазовой установки в двухвальном исполнении с одной газотурбинной установкой (SGT 5-4000F), горизонтальным паровым котлом-утилизатором (ЭМА 025-КУ) трёх давлений без дожигания топлива и паровой конденсационной турбиной (SST 5000) с регулируемым теплофикационным отбором. В качестве основного элемента ПГУ современная высокоэффективная газовая турбина SGT 5-4000F фирмы Siemens мощностью 290 МВт. При работе ГТУ воздух из атмосферы через КВОУ поступает на вход компрессора, сжимается и подаётся на камеру сгорания газотурбинного оборудования. Шум, образующийся на всасывающей стороне компрессора газовой турбины, распространяется в окружающую среду через КВОУ, а шум горения в газовой турбине распространяется через котел-утилизатор и газовый тракт через дымовую трубу. Определено, когда требуется установка устройств шумоглушения в воздушном и газовом тракте для обеспечения санитарных норм на расстоянии 300 и 500 м от станции. Проведен анализ возможных конструкций устройств шумоглушения для воздушного и газового тракта [2–3].

### **Литература**

1. **Тупов В. Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов В. Б.** Комплекс мероприятий по снижению шума от ТЭС // Электрические станции. 2013. № 3.
3. **V. Turov, V. Turov** Solutions to creating a low-noise power facility // 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, July 23–27, 2017

*В. С. Скворцов, асп.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРОЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТЭС НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШУМА ОТ ГРП**

ГРП и газопроводы низкого давления после него являются сильным источником шумового излучения на ТЭС [1]. Влияние данного источника на шумовой фон в окружающей среде зависит как от мощности потребителя природного газа, так и от расположения ГРП и газопровода низкого давления на территории станции [2–3].

На станциях средней и большой мощности ГРП располагается в отдельном здании и может быть значительно удален от потребителя природного газа. Также на крупных ТЭС может быть несколько ГРП в отдельных зданиях, работающих на общий газопровод низкого давления, либо автономно. В связи с этим газопровод низкого давления может быть также сильным источником шума.

Целью данной работы является расчет уровней шума с помощью математического моделирования от ГРП и газопровода низкого давления на территории жилой застройки на границе СЗЗ от типовых ТЭС разной мощности в зависимости от строений на территории ТЭС. Основные здания ТЭС такие, как здание котельного и турбинного цеха, здания блоков ГТУ и ПГУ, градирни и административные корпуса, могут являться барьерами, оказывающими экранирующее влияние на распространение шума.

Результаты расчетов показывают, что ориентация ГРП и газопроводов низкого давления по отношению к жилому району играет важное значение, также, как и тип клапанов и расход газа через них.

Показаны результаты анализа шумового воздействия от ГРП и газопроводов низкого давления в контрольных точках на территории жилой застройки.

### **Литература**

1. **Тупов В. Б., Тупов В. В., Скворцов В. С.** Особенности излучения шума от ГРП и газопроводов после него // Электрические станции. 2018. № 6.
2. **Скворцов В. С., Тупов В. Б.** Излучение шума газораспределительным пунктом и газопроводом после него // Третья Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (АСО-2018), 18 мая 2018 г.
3. **Скворцов В. С., Тупов В. Б.** Шум от ГРП тепловых электростанций в суммарном уровне шума на границе СЗЗ // Четвертая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (АСО-2019), 24 мая 2019 г.

*Сюн Чуан, студ.; рук. В. Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЭС КИТАЯ**

В настоящее время оборудование ТЭС является одним из интенсивных источников шума как для территории предприятий, так и окружающего района. Уровень излучаемого уровня шума зависит от состава оборудования существенно зависит от мощности станции, типа используемого топлива и ряда других факторов. Эксплуатация оборудования может приводить к превышению санитарных норм [1].

Целью настоящей работы является определение уровней звукового давления от ТЭС с различным оборудованием, в зависимости от его мощности, количества установленных единиц, расстояния до жилого района, ориентации оборудования по отношению к жилому району.

Шум от оборудования, как правило связан с текущей эксплуатацией. Отдельно рассмотрены ТЭС Китая, использующие в качестве топлива уголь. Показано, что углеразмольное оборудование по сравнению с другим оборудованием имеет свою специфику излучения, прежде все в низкочастотной области.

Выполнены расчеты уровней звукового давления по методике [2] от различного энергетического оборудования в окружающем районе на различных расстояниях от него. Показано, что в зависимости от расстояния и количества типа и количества установленного оборудования превышение санитарных норм может составлять десятки децибел. Видно, что ориентация оборудования по отношению к жилому району играет важную роль [3].

Рассмотрены типовые мероприятия по снижению шума от оборудования ТЭС Китая. Для этой цели используются различные мероприятия от установки глушителей до акустических экранов. Наиболее шумное оборудование устанавливается в специальные кожуха.

### **Литература**

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1993).** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчёта. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2007.
3. **V. Tupov** The theory of a low-noise power facility // 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, July 23–27, 2017

*Б. А. Мамонов, студ.; рук. А. А. Каверин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **КАЧЕСТВЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ФАКЕЛА В ИНВЕРТНОЙ ТОПКЕ М-ОБРАЗНОГО КОТЛА**

Рост потребления угля и требований по сокращению выбросов углекислого газа определяют актуальность повышения КПД паросиловых энергоблоков. Одним из перспективных направлений значительного увеличения эффективности производства электроэнергии на угольных ТЭС является существенное повышение начальных параметров пара. Однако их повышение ограничивается прочностными, технологическими свойствами металлов, надежностью их работы. Переход к сплавам на основе никеля обеспечит надежную работу поверхностей нагрева при температурах пара 700–720°C. Такие сплавы существенно дороже применяемых на уже освоенных блоках со сверхкритическими параметрами пара.

Разработанный в МЭИ вариант компоновки котла с М-образным профилем с инвертной топочной камерой позволяет в несколько раз уменьшить длину паропроводов за счет более низкого расположения выходных коллекторов пароперегревателя.

Топочная камера должна обеспечивать устойчивое горение, экономичную работу, минимальные выбросы токсичных веществ и равномерное распределение тепловой нагрузки по периметру топки. Для выполнения вышеназванных требований при сжигании кузнечного тощего угля предложено использовать ступенчатую схему сжигания с применением прямоточных горелочных устройств. Прямоточные горелки являются горелками коллективного действия и большое влияние на эффективность их работы оказывает способ их компоновки.

В данной работе выполнено исследование аэродинамики факела инвертной топочной камеры на физическом стенде и численное моделирование в программном комплексе Ansys Fluent с целью оптимизации аэродинамики топочного объема.

По результатам работы выявлено, что предложенная схема расположения обеспечивает эффективное и надежное сжигание твердого топлива при применении прямоточных горелочных устройств.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 16-19-10463-П от 20.05.2019)

### **Литература**

1. **Архипов А. М., Липов Ю. М., Прохоров В. Б.** Использование прямоточных горелок и сопел в топках котлов: инновационный опыт МЭИ — М.: Издательство МЭИ, 2013.
2. ANSYS FLUENT, 14.5. (2014). User's and theory guide. Canonsburg, Pennsylvania, USA: ANSYS, Inc.

*М. Д. Молдареева, студ.; рук-ли. Д. В. Горбуров, к. т. н.,  
И. В. Путилова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР СЕПАРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

Одним из наиболее сложных и напряженных элементов котельной установки ТЭС является барабан — устройство, предназначенное для сбора и раздачи рабочего тела, для отделения пара от воды, очистки пара, обеспечения запаса воды в котле и работающее под высоким давлением. Надежность работы барабанных котлов, во многом, определяется надежной работой внутрибарабанных и выносных сепарационных устройств. К качеству насыщенного пара барабанных котлов предъявляются жесткие требования, установленные на основе опыта эксплуатации оборудования и данных теплотехнических испытаний. Это связано с тем, что при высоком давлении пара и его незначительной влажности выносятся растворенные в нем примеси, которые откладываются на испарительных поверхностях или в турбине. В барабанных котлах для улучшения качества насыщенного пара необходимо уменьшить содержание в нем капельной влаги и растворенных в паре веществ. Это накладывает довольно жесткие требования к состоянию и конструкции сепарационных устройств. В современных барабанных котлах применяются в отдельности или в различных сочетаниях все основные виды сепарационных устройств. При выборе сепарационных устройств необходимо учитывать те изменения, которые они могут вызвать в работе циркуляционных контуров.

В основе любого сепарационного устройства лежит тот или иной принцип сепарации, а именно: гравитационная сепарация, инерционная и центробежная.

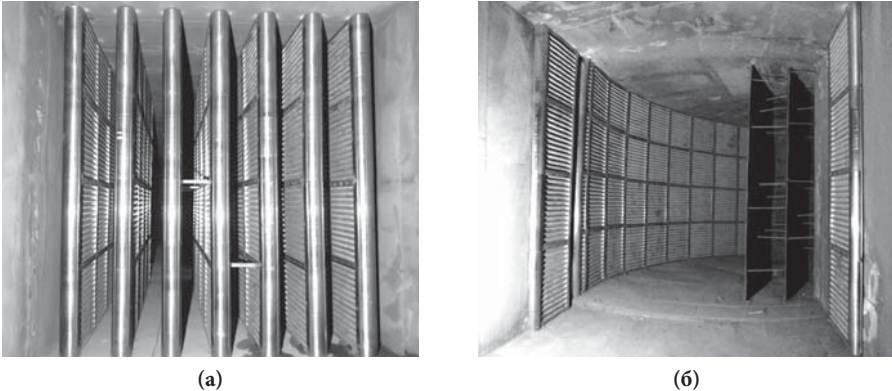
Эти устройства должны погасить кинетическую энергию поступающей в барабан пароводяной смеси с минимальным образованием мелкодисперсных капель влаги, обеспечить равномерное распределение паровой нагрузки по площади зеркала испарения и потока пара в объеме барабана, осуществить выделение из потока пара капель влаги.

В докладе представлен сравнительный анализ различных видов сепарационных устройств с описанием их достоинств и недостатков, а также произведена оценка гидродинамических характеристик на примере котла ТП-87. В общем виде, движение жидкости описывается уравнением Навье-Стокса. Однако, в связи с тем, что с помощью упомянутой системы уравнений невозможно аналитически оценить гидродинамические характеристики внутрибарабанных процессов котла, то для выполнения этой задачи применялись программы математического моделирования.

*Е. А. Журавлев, асп.; рук. Д. В. Чугунков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКУСТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ШУМОГЛУШЕНИЯ ГАЗОВОГО ТРАКТА КОТЛА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ТЭЦ**

Для снижения шума, образующегося от энергетического котла действующей ТЭЦ и распространяющегося от устья дымовой трубы, в газовом тракте была установлена система шумоглушения (рис. 1).



**Рис. 1.** Система шумоглушения газового тракта котла ТЭЦ: а — диссипативный пластинчатый глушитель шума; б — звукопоглощающая облицовка, концентрические направляющие лопатки

Система шумоглушения предусматривала установку в каждый из двух газоходов котла по комплекту следующих элементов: одноступенчатый диссипативный пластинчатый глушитель шума на прямом участке газохода котла перед входом в дымовую трубу, звукопоглощающая облицовка боковой поверхности поворота на 90° газохода и участка газохода за поворотом и аэродинамической решётки в повороте на 90°. Основной особенностью системы являлось наличие оригинальных кассет НИУ «МЭИ» [1] в составе пластинчатого глушителя шума и звукопоглощающей облицовки.

Акустические испытания проводились путём проведения серии измерений уровней звукового давления (УЗД) и уровней звука (УЗ) в 1 м от кромки среза устья дымовой трубы до и после установки системы шумоглушения. Акустическая эффективность системы шумоглушения определялась по разности УЗД и УЗ до и после внедрения системы. По результатам испытаний акустическая эффективность системы шумоглушения котла ТЭЦ составила 5,5–30,3 дБ на всех нормируемых октавных полосах или по УЗ 24,9 дБА.

### **Литература**

- Кассета звукопоглощающая для глушителей шума газо-воздушных трактов:** пат. 187890 Рос. Федерация, МПК F01N 1/10/ Д. В. Чугунков, Г. А. Сейфельмлюкова, Е. А. Журавлев, К. С. Фоменко, А. Д. Скурихина, А. Е. Богданова.

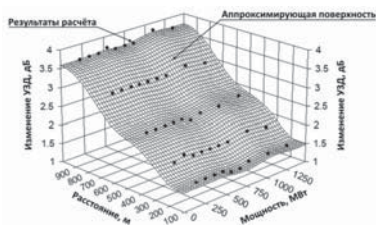
*В. И. Логвиненко, студ.;  
рук. А. А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЁТАХ ТЭС С ПТУ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Важным вопросом при проведении акустических расчётов энергетического оборудования является определение влияния коэффициента затухания звука в атмосфере. Некорректное его определение может привести к ошибкам в разработке мер по шумоглушению [1].

Для выполнения акустического расчета построена модель ТЭС, которая является прототипом ТЭЦ в масштабе 1:1. Расчёты производились с различным количеством оборудования в работе. Всего было подготовлено 9 моделей: с установленными мощностями в 1350, 1100, 860, 750, 640, 540, 440, 330, 220 МВт. Влияние климатических факторов рассматривается для расчетных точек, удаленных на расстояние 150, 300, 500, 750 и 1000 м от границы территории станции. При помощи программы Predictor были определены уровни звукового давления в расчетных точках для октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5–8000 Гц и уровни звука по шкале «А» при климатических условиях города Москвы с учетом изменения температуры и относительной влажности в течение года.

Из проведённого расчёта получено, что увеличение установленной мощности ТЭС мало влияет на изменение УЗД в расчётных точках в течение года. Для 1000 Гц изменение составляет: 1,4–1,5 дБ для 150 м, 1,8–1,9 дБ для 300 м, 2,2–2,4 дБ для 500 м, 3–3,1 дБ для 750 м и 3,6–3,8 дБ для 1000 м (рис. 1). Это означает, что влияние климатических факторов с увеличением расстояния от границы станции усиливается.



**Рис. 1.** Изменение УЗД для частоты 1000 Гц в течение года в зависимости от расстояния и установленной мощности

### Литература

1. **Тупов В. Б., Тараторин А. А., Скворцов В. С.** Влияние региональных климатических факторов на снижение уровня шума от энергетического оборудования // Теплоэнергетика, 2018. № 14. С. 72–77.



А. Б. Мухаметов, студ.; рук. В. Б. Прохоров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),  
В. С. Киричков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ И ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНВЕРТОРНОЙ ТОПКИ М-ОБРАЗНОГО КОТЛА

На кафедре ТЭС НИУ «МЭИ» для энергоблока на сверхкритические параметры пара, работающего на кузнецком каменном угле марки Т, предложен котел М-образного профиля с инверторной топкой, что позволяет в значительной степени сократить длину главных паропроводов и снизить капитальные вложения.

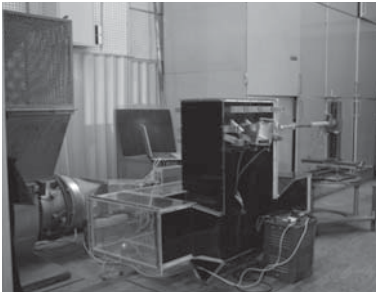


Рис. 1. Экспериментальная установка инверторной топki М-образного котла

Целью данной работы является исследование внутритопочной аэродинамики и определение количественных характеристик взаимодействия турбулентных струй и вихревых течений на физической модели инверторной топki М-образного котла. Исследования проведены с помощью изотермического моделирования, которое основывается на соблюдении равенства отношений динамических напоров струй на выходе из прямооточных каналов и потока топочных газов на уровне их расположения на физической модели и в реальном котле [1].

На рис. 1 представлена экспериментальная установка для исследования аэродинамики инверторной топki, оснащенная приборами для определения характеристик струй. В ходе исследований получены траектории движения струй всех наименований, определены границы топливных струй с помощью электроподогрева потока и поля скоростей в струях и на их границах. На основе количественных характеристик турбулентных струй рассчитана их эжекционная способность и сделаны выводы об эффективности данной схемы сжигания твердого топлива.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10463-П от 20.05.2019).

### Литература

1. Архипов А. М., Липов Ю. М., Прохоров В. Б. Использование прямооточных горелок и сопел в топках котлов: инновационный опыт МЭИ — М.: Издательство МЭИ, 2013.

*К. И. Мальцев аспирант; рук-ли А. С. Заворин, д.т.н., проф.,  
А. В. Гиль к.т.н., доц. (ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», Томск)*

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 220 Т/Ч ПРИ ПЕРЕВОДЕ НА НЕПРОЕКТНОЕ ТОПЛИВО**

При проектировании оборудования ТЭС характеристики сжигаемого топлива играют очень важную роль. Многие угольные электрические станции в нашей стране эксплуатируются более 30 лет [1]. В процессе эксплуатации ТЭС происходит выработка угольных месторождений, что влечет за собой изменение теплотехнических свойств угля и исчерпание запасов. Сжигание непроектных топлив в паровых котлах влечет за собой неэффективную работу как основного, так и вспомогательного оборудования ТЭС.

В работе проведены численные исследования процессов в топочной камере котла БКЗ-220-100Ф Артёмовской ТЭЦ при работе на непроектном топливе. Проектным топливом для данного котельного агрегата является бурый уголь Артемовского месторождения. Замещающим углём выбран каменный уголь Ургальского месторождения марки Г.

В работе проведен аналитический анализ приведённых характеристик проектного и замещающего углей, а также численные исследования топочных процессов в камере сгорания парового котла.

Проведённый анализ рассматриваемых углей показал схожесть теплотехнических характеристик.

На основании численного исследования аэродинамической структуры топочных потоков отмечается формирование вертикального вихря согласно тангенциальной компоновке горелочных устройств при сжигании проектного и замещающего угля. При сжигании угля Ургальского месторождения выявлена повышенная температура в ядре горения, при этом недожог топлива, и концентрация кислорода на выходе из топки соответствуют нормативным значениям.

Выполненные исследования показали возможность работы котла БКЗ-220-100Ф на рассматриваемом непроектном топливе.

### **Литература**

1. ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии».

*И. А. Кокулин, студ.;*  
*рук. А. Е. Барочкин, к. т. н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ КОТЛА Е-50-3,9-440ГМ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ**

По данным Ростехнадзора [1], причины аварий на опасных производственных объектах в более чем 70% случаев определяются так называемым «человеческим фактором».

При модернизации котла Е-50-3,9-440ГМ ст. № 6, установленного в КТУ АК ТЭЦ АО «Апатит», была произведена замена труб второй ступени пароперегревателя.

После пуска в работу котёл был остановлен действием автоматической защиты из-за недопустимого отклонения разрежения в топке, которое было вызвано выходом из строя (разрушением) трубок второй ступени конвективного пароперегревателя и выходом пара в горизонтальный газоход котла.

Причинами повреждения трубок пароперегревателя явились:

1. Установка второй ступени пароперегревателя с теплообменными трубками диаметром  $\varnothing 34 \times 3$  мм вместо трубок диаметром  $\varnothing 28 \times 3$  мм, указанных в проекте пароперегревателя, что привело к увеличению площади живого сечения трубок по паровой стороне в 1,6 раза. При этом линейная скорость пара в 60-ти трубах пароперегревателя с внутренним диаметром 28 мм при расходе пара 30 т/ч (8,3 кг/с) составила 13,5 м/с, что примерно в 1,5 раза меньше минимально допустимой скорости в трубах пароперегревателя — 20 м/с. При расчете линейной скорости пара в 60-ти трубах пароперегревателя с внутренним диаметром 22 мм величина скорости составляет 22 м/с. Таким образом, увеличение площади живого сечения для прохода пара в пароперегревателе привело к уменьшению скорости течения пара в трубках второй ступени пароперегревателя, ухудшению условий охлаждения этих трубок и к длительному недопустимому их нагреву и повреждению.
2. Разрыв одной или нескольких трубок пароперегревателя, который привёл к уменьшению расхода пара в смежных трубках, что в свою очередь привело к ухудшению условий их охлаждения, недопустимому нагреву и повреждению металла стенок других трубок.
3. Скорость подъёма температуры пара от котла при пуске составила 34,3°С/мин при предельной допустимой скорости прогрева металла для труб из данной стали, равной 15°С/мин.

### **Литература**

1. Пуликовский К. Б. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору // Безопасность труда в промышленности. — № 7, 2006 г.

Б. А. Мамонов, студ.; рук. М. В. Фоменко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО КОТЛА

В настоящее время для исследований, оптимизации и анализа конструкции паровых котлов с целью повышения экономичности, экологичности и надёжности их работы, активно применяются методы моделирования, основанные на вычислительной гидродинамике.

Объектом исследования настоящей работы является топочная камера с разработанной трехступенчатой схемой сжигания кузнецкого тощего угля с применением прямоточных горелочных устройств и сопел с твердым шлакоудалением на примере котла ТПП-210А.

В данной работе рассмотрено влияние температурной зависимости теплофизических свойств продуктов сгорания (вязкости и теплопроводности) на качество модели, а также влияние конструктивных характеристик на показатели работы котла. Расчеты выполнены в программном комплексе ANSYS Fluent. В результате работы были получены поля температур по всему объему топочной камеры. Результаты сопоставлены с позонным расчетом [1] (рис1.). Температура дымовых газов на выходе из топки, полученная при численном моделировании отличается от температуры, полученной при позонном расчете котла менее чем на 30°C.

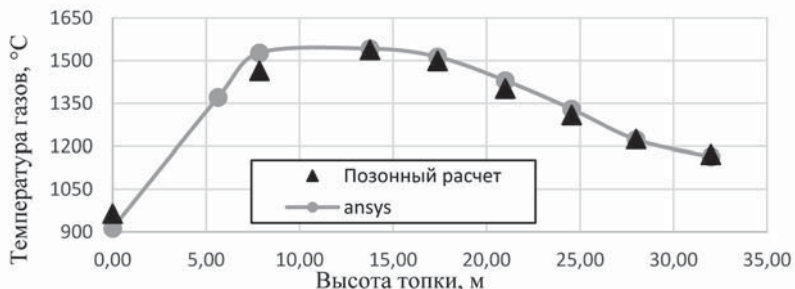


Рис. 1. Распределение температуры по высоте топки

### Литература

1. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1973.

*Д. В. Илясов, И. А. Кожанов, В. А. Гришин, А. Э. Савинкина, студ.;  
рук. М. С. Иваницкий, доц., к.т.н. (ВФ МЭИ)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Современное развитие отечественной теплоэнергетики должно проходить с учетом роста ее конкурентоспособности. Улучшение технико-экономических показателей работы тепловых электрических станций в основном связано с разработкой новых подходов и технологий, обеспечивающих повышение начальных параметров пара и применением новейших конструкционных материалов и сплавов (перлитных и никелевых сталей), а также внедрением схемных и параметрических решений (например, малоэмиссионные горелки, ступенчатое сжигание топлива, каталитические технологии очистки продуктов сгорания от маркерных веществ), оптимизирующих работу энергетических установок генерирующих систем. ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» совместно с ведущими энергетическими вузами страны и энергомашиностроительными предприятиями разработал новые проекты создания отечественных угольных энергоблоков на сверхкритические параметры электрической мощностью 660 и 1060 МВт, на основе которых запланировано строительство тепловых электростанций на период после 2021 года. В связи с этим, одной из ключевых задач российской теплоэнергетики является повышение эффективности использования химической энергии топлива, в том числе за счет утилизации тепла отходящих газов энергетических котлов [1].

В работе авторами на основе численных расчетов проведено исследование влияния доли продуктов сгорания, направленных на утилизацию тепла отходящих газов на повышение КПД котла ТГМ-84Б при сжигании высокосернистого крекинг-мазута. На основе полученных результатов расчета и моделирования процессов сжигания топлива разработаны рекомендации по организации топочного процесса, связанного с уменьшением выбросов маркерных веществ, а также вариантам конструктивных решений утилизационных теплообменников, обеспечивающих повышение эффективности технико-экономических показателей котельной установки.

### **Литература**

1. **Шварц А. Л.** Пылеугольные котлы на сверх- и сверхкритические параметры пара для отечественных энергоблоков / А. Л. Шварц, А. Н. Тугов, Э. Х. Вербовецкий // Энергетик. 2013. № 6. С. 79–82.

*А. А. Ерунов, студ.; рук-ли И. М. Бернадинер, к.т.н., доц.;  
П. В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ЖИДКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ЦИКЛОННОМ РЕАКТОРЕ**

В работе [1] намечены направления и показана актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ. Рассмотрены классификация пестицидов, их влияние на организм человека и окружающую среду, количество накопленных ядохимикатов по регионам РФ. Разработана тепловая схема барабанной печи. Новым этапом изучения вопроса стал выбор способа утилизации жидких ядохимикатов. Принято решение использовать циклонный реактор.

Разработана технологическая схема высокотемпературного обезвреживания пестицидов. Отходы — жидкие пестициды, накопленные в Ростовской области. Агрегатная нагрузка установки:  $1,5 \text{ т}_{\text{отх}}/\text{ч}$ . Определен элементный состав отходов, выполнен расчет горения отходов и природного газа, составлен тепловой баланс реактора, рассчитаны потери через ограждения в окружающую среду. Так как температура дымовых газов высока, то принято решение добавить в технологическую схему котел-утилизатор. Был выбран газотрубный горизонтальный котел-утилизатор СКУ-1,7/4 [2]. Температура дымовых газов на выходе из него составляет  $440^\circ\text{C}$ . В дальнейшем исследовании планируется включить в схему тканевый фильтр для улавливания пыли.

Создание высокотемпературной установки для обезвреживания пришедших в негодность пестицидов позволит решить такие важные экологические проблемы, как загрязнение окружающей среды, загрязнение почвы, грунтовых вод и невозможность их использования, а также поможет предотвратить появление и развитие хронических и приобретенных заболеваний населения.

### **Литература**

1. **Ерунов А. А., Хорева П. В.** Актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Двадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. С. 609.
2. **Воинов А. П., Зайцев В. А., Куперман Л. И., Сидельковский Л. Н.** Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 272 с.

*Е. Ю. Бальзамова, асп.;*  
*рук. И. Г. Ахметова, д.т.н., доцент (КГЭУ, Казань)*

## **МНОГОФАКТОРНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТИПА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

Применяемая на сегодняшний день система нормирования теплотерь при ее транспортировке в тепловых сетях не позволяет комплексно учитывать совокупность факторов, влияющих на эффективность системы теплоснабжения [1]. К числу наиболее важных факторов можно отнести вероятность механического повреждения и затопления теплоизоляционной конструкции, скорость ветра, тип изоляционного покрытия, температурный график тепловой сети, удобство выполнения монтажных работ, совокупная стоимость теплоизоляционной конструкции [2].

Актуальность разработки комплексной методики обосновывается тем, что теплоснабжающие организации в основном не имеют целостной картины о фактических потерях, и что немаловажно отсутствует системный подход о принятии решения использования оптимального типа теплоизоляционных конструкций [3].

В связи с этим авторами поставлена задача по разработке математической модели, базирующей на системном анализе факторов, оказывающих наибольшее влияние на тепловые потери трубопроводов через теплоизоляцию. Ранжирование факторов проводится методом экспертной оценки с участием специалистов профильных организаций, имеющих длительный практический опыт эксплуатации тепловых сетей.

Разработанная математическая модель позволит с высокой долей вероятности оценивать фактические тепловые потери и подбирать оптимальный тип теплоизоляционной конструкции.

### **Литература**

1. **Ахметова И. Г., Бальзамов Д. С., Бальзамова Е. Ю.** Основные требования при выборе теплоизоляционных материалов для трубопроводов тепловых сетей // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: Тр. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. К: ЗапСибНЦ, 2018. Т. 1
2. **Balzamov D. S., Balzamova E. Yu., Khaibullina A. I., Sabitov L. S.** Analysis of the technique of software products for the selection of heat-insulating materials for heat networks pipelines // Innovative Engineering Technologies, Equipment and Materials: Mat. 9th Intern. Scient. Conf. K.: Kazan, KPFU, 2018. P. 012009.
3. **Ахметова И. Г., Бальзамова Е. Ю., Бронская В. В., Бальзамов Д. С., Лапин К. В., Харитонов О. С.** Выбор оптимального типа теплоизоляционной конструкции на основе нейросетевого моделирования // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Тр. Междунар. науч. Семинар им. Ю. Н. Руденко. К.: КГЭУ, 2020. Т. 2.

*Э. М. Хуснутдинова, соиск.;*  
*рук. Л. А. Николаева, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ**

В настоящее время активно проводится разработка методов снижения экологической нагрузки на окружающую среду с помощью вторичного использования отходов производства. Таким отходом производства является карбонатный шлам химводоочистки Набережночелнинской ТЭЦ. Ежегодно объем шлама увеличивается, а его применение является одним из приоритетных направлений.

В качестве одного из направлений вторичного применения шлама химводоочистки рассматривается возможность использования его сорбционных свойств для очистки газовых выбросов от диоксида серы на промышленных предприятиях.

Одним из эффективных способов очистки газовых выбросов является их адсорбция на микропористых сорбентах. Такая технология обеспечивает содержание вредных веществ в входящих газах на уровне нормативов удельных выбросов в атмосферу [1]. В технологиях очистки газовых выбросов промышленных предприятий применяют адсорберы с зернистой загрузкой. Поэтому для уменьшения гидравлического сопротивления в слое, через который пропускаются газовые выбросы, адсорбенты изготавливают в виде гранул.

Гранулированный шлам имеет высокую пористость, что особенно важно при использовании его адсорбционных свойств в режиме пропускания газа. Низкая стоимость адсорбционного материала на основе шлама химводоочистки, доступность, возможность регенерации, позволяют его использовать для очистки газовых выбросов с минимальными затратами ресурсов и наибольшей эффективностью.

Использование сорбционных свойств шлама химводоочистки с целью снижения газовых выбросов от диоксида серы позволяет решить эколого-экономические и ресурсосберегающие проблемы химического и топливно-энергетического комплексов.

### **Литература**

1. **Хуснутдинова Э. М.** Адсорбционная технология очистки газовых выбросов промышленных предприятий от диоксида серы / Э. М. Хуснутдинова, Л. А. Николаева // МНПК «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2020». г. Севастополь, 2020. С. 603–605.



**Секция 45**  
**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: Селиванов Елисей Андреевич*

*А. В. Лысенкова, П. Н. Баева, студенты;  
рук. И. С. Никитина, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Современная выработка электрической и тепловой энергии сопровождается большими объемами забора воды из природных водоемов. В качестве источника питьевого водоснабжения на ТЭС может быть рассмотрена вода подземных источников.

Согласно санитарным нормам питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, а также безвредна по химическому составу. В водопроводной воде может присутствовать до 2 мг/л аммонийного азота и до 1,5 мг/л фторидов. [1] Избыток ионов фтора и аммиака в воде из подземного источника приводит к проявлению токсичных свойств, что пагубно влияет на состояние организма человека и негативно воздействует на окружающую среду.

Для удаления указанных ионов в работе рассмотрен метод очистки подземной воды фильтрованием через слой сорбента. Произведен выбор сорбентов нового поколения российского производства. Проведены опыты с использованием загрузки фильтров сорбентами в различных сочетаниях. Допустимые результаты по очистке воды от ионов аммиака и фтора показали сорбенты АПТ-1, АПТ-2, АПТ-4 с раздельной загрузкой и загрузкой слоями АПТ-2/АПТ-4, АПТ-1/АПТ-2; концентрация аммонийного азота и фторидов находится ниже нормируемого уровня.

**Таблица.** Зависимость концентрации ионов аммония в фильтрате от количества пропущенного раствора

Количество пропущенного раствора, л	Концентрация ионов аммония, мг/л					
	АПТ-1	АПТ-4	АПТ-2	АПТ-1/ АПТ-2	АПТ-2/ АПТ-4	АПТ-2/ АПТ-1
1	1,032	0	0	0,71	0	0
2	0,683	0	0,073	2,416	0	0
3	0,977	0,187	0	0,383	0	0
4	0,496	0,049	0	0	0	0,563
5	0,484	0	0,478	0,122	0	0,236

### **Литература**

1. СанПин 2.1.4.1175-02. «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников»

*А. О. Иванова, студ.; А. А. Хоменко, студ.;  
рук. О. В. Егошина, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА И ДОЗЫ РЕАГЕНТА НА СТЕПЕНЬ КОАГУЛИРУЕМОСТИ ВОДЫ**

В энергетике под коагуляцией понимают комплекс мероприятий, направленных на очистку воды от взвешенных веществ и коллоидных частиц, обесцвечивания путем введения в воду коагулянта, что вызывает образование хлопьевидного осадка, который выводится из воды в осветлителях и осветлительных фильтрах [1].

Одним из наиболее экономичных и эффективных реагентов на рынке новых коагулянтов является полиоксихлорид алюминия (ПОХА). В основе процесса производства лежит взаимодействие порошкообразного гидроксида алюминия с соляной кислотой, при повышенных температуре и давлении.

Результаты исследований показывают, что ПОХА (по сравнению сульфатом алюминия и др.) позволяет получить необходимое качество очищенной воды по мутности, цветности, содержанию остаточного алюминия при дозе коагулянта на 20–30% меньше. В то же время при одинаковой дозе коагулянтов применение полиоксихлорид алюминия существенно повышает глубину очистки воды по органическим загрязнениям, характеризуемым перманганатной окисляемостью, а также по мутности, цветности и концентрации остаточного алюминия. Улучшение эффективности удаления загрязнений при использовании полиоксихлоридов алюминия по сравнению с другими коагулянтами в процессах очистки воды рек также отмечается в ряде публикаций [2, 3].

Согласно [1] при проведении коагуляции воды большое значение имеет создание исходных условий, которые оказывают благоприятное воздействие на процесс хлопьеобразования. Помимо равномерного распределения коагулянта в объеме, на численную концентрацию зародышевых частиц коагулированной взвеси влияет быстрое перемешивание, распределение этих частиц по размеру и характер их взаимной фиксации в агрегатах.

### **Литература**

1. РД 153-34.1-37.502-2000 Методические указания по очистке исходной воды коагулянтами на ТЭС
2. Волков В.З. Новые коагулянты в практике Московского водопровода // Водоснабжение и санитарная техника — 2003. — № 2
3. Гетманцев С.В. Использование современных коагулянтов в практике российских водоочистных предприятий // Водоснабжение и санитарная техника — 2006. — № 4.

*Е. М. Шаляев, студ.; рук Е. В. Зайцева к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АМИНОВ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВХР КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ БЛОКОВ ПГУ**

В настоящее время достаточно большое количество ТЭЦ расширяются за счёт установки блоков ПГУ. Поэтому становится актуальным вопрос о безопасной и надежной работы котлов-утилизаторов. Для предотвращения коррозии и накипеобразования применяется хеламиновый ВХР.

Хеламин-является смесью поликарбонатов и поверхностно-активных насыщенных алкилполиаминов в сочетании с другими аминами различной степени летучести. Применение хеламина дает эффективную защиту от коррозии и отложений в контурах воды и пара. Так же может применяться для предпусковой отмывки и консервации.

В связи с ростом цены на хеламин, возникает необходимость поиска нового реагента для обеспечения водно-химического режима котла-утилизатора блока ПГУ, который должен сочетать в себе положительные качества хеламина, но быть дешевле. Таким реагентом стал PuroTech BW 4 и PuroTech RLT 4.

Комплексный реагент PuroTech BW4 — реагент на основе пленкообразующих, нейтрализующих аминов и дисперсантов для предотвращения образования отложений не только солей жесткости, но и продуктов коррозии, регулирует значения рН котловой воды в нормируемых пределах; вводится в барабаны котлов НД и ВД, в трубопровод нормального добавка обессоленной воды.

Опытно-промышленные испытания, при дозировании реагента PuroTech BW 4 наблюдается заметное снижение содержания меди во всех производственных потоках по сравнению с режимом дозирования реагента Хеламин. Это связано с отсутствием коррозионного воздействия на медьсодержащие сплавы и со стабильным поддержанием рН по тракту блока, что обусловлено сбалансированным составом нейтрализующих, пленкообразующих аминов и дисперсантов в реагенте PuroTech BW 4. Так же наблюдается снижение кремниевой кислоты в котловой воды, но оно выше чем при дозировании хеламина и не превышает установленную норму. При дозировании PuroTech снижается значения содержания железа, по сравнению с другими режимами.

При применении реагентов PuroTech BW4 и PuroTech RLT 4 показатели качества ведения водно-химического режима соответствовали нормируемым величинам. PuroTech BW4 и PuroTech RLT 4 может быть использован в качестве альтернативы хеламину.

*Г. С. Тассо, студ.; рук. Е. В. Зайцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Эксплуатация энергетических котлов сопровождается сложными физическими и химическими процессами в пароводяном тракте, в газозооудшном тракте, в металле, из которого изготовлены элементы энергооборудования. В результате таких процессов на внутренней поверхности котлов образуются отложения различные по химическому составу и по структуре.

В [1] указаны следующие причины образования отложений: изменения в составе воды вследствие нагрева и концентрации, а также выделением твердых отложений; накопление на поверхности котла различных суспензий; коррозия металла и образование отложений из продуктов коррозии.

Наличие отложений на внутренних поверхностях нагрева котлов приводит к снижению коэффициента теплопередачи и к повышению температуры металла, при которой возможен пережог труб. Это связано с тем, что теплопроводность накипи в десятки раз меньше теплопроводности сталей, из которой изготовлены теплообменники, и поэтому даже тончайший слой накипи создает большое термическое сопротивление, приводящее впоследствии к перегреву труб и их разрыву [2]. Кроме того, под слоем отложений, как правило, интенсифицируются коррозионные процессы.

Например, отложения карбоната кальция не представляют собой коррозионной угрозы (а даже наоборот, улучшают коррозионную безопасность за счет образования на внутренних стенках оборудования твердого слоя) [3]. Однако они снижают тепловую эффективность котла и ухудшают его гидравлические параметры (увеличение сопротивления потока, его локальная блокировка). А образование отложений в проточной части паровых турбин, особенно в ЦВД, приводит к снижению их мощности и надежности работы.

Для удаления накипей с теплопередающих поверхностей применяются химические очистки — специальные многоступенчатые мероприятия, проводимые с целью предупреждения коррозии теплоэнергетического оборудования и удаления с его внутренних поверхностей различных загрязнений, которые могут привести к необратимым последствиям.

### **Литература**

1. **Марьяновский Я., Наликовский А., Пётшковская А., Курьяков А.** Химическая очистка паровых котлов от отложений и продуктов коррозии традиционными методами и методом «в работе» // *Новости теплоснабжения*. 2014. № 01 (161).
2. **Mo D. Majnouni, Arif E. Jaffer.** Chemical Cleaning of an Industrial Boiler, an Overview // *The ANALIST The Voice of the Water Treatment Industry*. 2004. Т. XI. № 4.
3. **Хомич Д.** Очистка воды в котельных и на тепловых станциях. Варшава: Аркады, 1989.

*Е. Э. Астаева, М. А. Емелин, Д. С. Леонова, студенты;  
рук. Е. А. Селиванов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЕДЕНИЕ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЯ В КОНДЕНСАТНО-ПИТАТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ ТЭС**

Для изготовления некоторых элементов оборудования на тепловых электростанциях (ТЭС) в качестве конструкционного материала используют сплавы на основе алюминия. Наиболее широкое применение эти сплавы находят на ТЭС с воздушно-конденсационными установками (ВКУ). Установки этого типа имеют закрытую систему оборотного водоснабжения. В состав ВКУ входят конденсатор, охладительные дельты и соединительные трубопроводы. Дельты размещаются внутри «сухой» градирни и выполняются из алюминиевых сплавов [1]. Из-за коррозионных повреждений в ВКУ по водяной стороне, возможна миграция алюминия по конденсатно-питательному тракту.

Сплавы алюминия, так же, как сплавы меди и стали, изменяют свои свойства с ростом температуры. Известно, что в интервале температур 40–350°C оксидные пленки, образующиеся на поверхности алюминия и его сплавов при контакте с обессоленной водой, состоят из двух слоев: внутреннего — представляющего собой мелкокристаллическую гидроокись алюминия (гиббсит) и внешней, изменяющейся в зависимости от температуры. При температуре до 80°C внешний слой состоит из байерита, в интервале температур 80–110°C он имеет структуру бемита, выше 110°C, но ниже 300 °C структуру гидроксида алюминия, выше 300°C образуется корунд [2, 3].

Определение области существования в зависимости от pH и состава соединений с алюминием, не являющихся оксидами, является важной задачей. Решение которой позволит подлить срок работы ВКУ и оптимизировать выбор и дозирование реагентов для поддержания pH.

В работе будет исследовано влияние содержания, хлоридов, сульфатов и кремниевой кислоты на коррозионную стойкость алюминиевых сплавов и область существования продуктов коррозии.

### **Литература**

1. **А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева** Устройство и расчет промышленных градирен КГЭУ–Казань 2004. — 180 с.
2. **Т. И. Петрова, Е. А. Селиванов** Выбор водно-химического режима ТЭС при использовании “сухих” градирен в системах оборотного охлаждения // Новое в российской электроэнергетике. — 2020. — № 7. — С. 15–22.
3. **K. Sotourleh, T. H. Hgujen, R. T. Foley** The chemical nature of Aluminum corrosion. — Corrosion of Aluminum surfaces by Aluminum salts. Corrosion, 1981, vol. 37, #6, p. 358–362.

*Е. Э. Астаева, М. А. Емелин, Д. С. Леонова, студенты;  
рук. Е. А. Селиванов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГОЛЬНОЙ КИСЛОТЫ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Применение «сухих» градирен в системах охлаждения на тепловых и атомных электростанциях (ТЭС и АЭС), позволяет повысить ресурсоэффективность производства электроэнергии, значительно сократив расход охлаждающей воды. По данным [1], сокращения годового потребления охлаждающей воды в системе конденсации пара для ТЭС составляет 17.5 раз. Переход к системам охлаждения с «сухими» градирнями, в энергетике России связан с необходимостью применять наилучшие доступные технологии (НДТ) [2] при возведении новых объектов и реконструкции существующих.

Надежность работы системы охлаждения конденсатора зависит от таких факторов, как теплотехнические параметры, коррозия конструкционных материалов. Для минимизации процессов коррозии важно выбрать оптимальный водно-химический режим (ВХР). По рекомендациям производителей оборудования необходимо поддерживать рН 8.0–8.5, а содержание растворенного кислорода 8–8.5 мг/дм<sup>3</sup>. Данные по эксплуатации систем охлаждения с «сухими» градирнями согласуются, с рекомендациями производителей только по значению рН, таблица 1. Это связано с тем, что единые нормы по качеству систем охлаждения с «сухими» градирнями отсутствуют.

**Таблица 1.** Качество охлаждающей воды на ТЭС с «сухими» градирнями

Название ТЭС	ТЭС Ружли	ТЭС Иббенбюрен	ТЭС Дьендьен	ТЭС Караджальская
Дозируемый реагент	морфолин	гидразин	-	Аммиак
рН	8,3–8,5	7,5–8,0	7	8,4–8,6
О <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	100	50	15	150

В работе будет исследовано влияние содержания растворенных газов, кислорода и углекислого газа в виде угольной кислоты, на коррозионную стойкость алюминиевых сплавов.

### **Литература**

1. **Т. И. Петрова, Е. А. Селиванов** Выбор водно-химического режима ТЭС при использовании «сухих» градирен в системах оборотного охлаждения // Новое в российской электроэнергетике. — 2020. — № 7. — С. 15–22.
2. **П. В. Росляков, О. Е. Кондратьева, А. Н. Головтеева, А. М. Сиваковский** Алгоритм оптимального выбора наилучших доступных технологий для российских ТЭС // Теплоэнергетика. — 2019. — № 4. — С. 60–72.

Е. А. Селиванов, асп.; рук. Т. И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Применение «сухих» градириен в системах охлаждения на тепловых и атомных электростанциях (ТЭС и АЭС), позволяет повысить ресурсоэффективность, значительно сократив расход охлаждающей воды. По данным (1), сокращения годового потребления охлаждающей воды для ТЭС составляет 17.5 раз.

Переход к системам охлаждения с «сухими» градириями, в энергетике России обусловлен необходимостью применять наилучшие доступные технологии (НДТ) (2)

Одним из критериев выбора оптимального водно-химического режима (ВХР), является минимизация процессов коррозии конструкционных материалов [1]. Оценку протекания коррозионных процессов можно провести экспериментальным и расчетным путем. Для расчетной оценки используются математические модели. Одним из методов оценки, является построение диаграмм состояния металла, по которым можно оценить области существования соединений различных металлов в системе металл — вода. Такие диаграммы также называют диаграммы Пурбэ. Использование указанных диаграмм имеет несколько условий: постоянство температуры, давления, активностей компонентов рассматриваемой системы металл — вода, состава системы [1]. Эти ограничения не дают возможности точно прогнозировать области существования соединений металлов для условий работы реального оборудования.

Разрабатываемый метод построения многомерных диаграмм состояния конструкционного материала позволяет определять состояние рассматриваемой системы металл — вода при изменении параметров и состава примесей в воде. В основу метода расчёта было положено уравнение более двух компонентов,

$$E(T) = f(pH(T), Me, Rg(T)) = E_0(T) + \sum K_m(T) \cdot \Psi_m \quad (1),$$

где  $E_0(T)$  — стандартный окислительно-восстановительный потенциал;  $K_m(T)$  — температурный коэффициент;  $\Psi_m$  — рН, активность иона металла  $Me$ , активность иона реагента  $Rg$  не влияющего на рН системы.

Расчеты, проведенные по данному уравнению, согласуются с применяемыми ранее расчетами для диаграмм Пурбэ, которые были проверены на реально работающем оборудовании и дополняют их. В дальнейшей работе планируется сравнение расчетов с промышленными и лабораторными экспериментальными данными.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90213»

### Литература

1. **T. I. Petrova, E. A. Selivanov** Using of Pourbaix diagram for evaluation of water chemistry recommended for ultra-supercritical parameter of water coolant Journal of Physics: Conference Series 891 (1), 012262



*М. А. Бабичева, студ.; рук. О. В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОЯВЛЕНИЯ РАСТВОРЕННОГО ВОДОРОДА В ПАРОВОДОЯНОМ ТРАКТЕ НА ТЭС**

Внутренняя коррозия поверхностей нагрева труб является основной причиной снижения надежной и безаварийной работы котлов. Поэтому необходимо уделять особое внимание методам контроля коррозии металла котлов по косвенным показателям. К таким методам относится определение содержания растворенного водорода в воде и паре.

Известно, что основными источниками появления растворенного водорода в паре считаются высокотемпературная коррозия и термоллиз органических соединений [1]. Поэтому результаты промышленных исследований изменения растворенного водорода в паре являются востребованными и вызывают повышенный интерес со стороны сотрудников хим. службы на электростанциях.

На основании результатов обследований систем автоматического химического контроля сорока паросиловых блоков с барабанными котлами (БКЗ-420-140) отмечено, что наибольшие значения концентрации растворенного водорода наблюдаются в насыщенном и перегретом паре и связаны с высокой теплонапряженностью.

Проведенный анализ результатов промышленных исследований изменения концентрации растворенного водорода по тракту паросиловых и парогазовых блоков позволяет считать, что:

1. Концентрация растворенного водорода в воде и паре, отбираемых на различных участках тракта, является ориентировочным критерием оценки скорости пароводяной высокотемпературной коррозии при условии отсутствия органических соединений в тракте.
2. Повышенное содержание растворенного водорода отмечается при пусках блоков. Быстрое повышение температуры теплоносителя при водных промывках способствует удалению отложений продуктов коррозии из тракта и возможно частичному разрушению защитной пленки из магнетита.
3. Использование автоматических анализаторов растворенного водорода позволит обнаружить нарушения теплового и химического режимов, влияющих на скорость высокотемпературной пароводяной коррозии.

### **Литература**

1. **Виноградов В. Н.** Водородометрия при диагностике водно-химических режимов котлов ТЭС // «Вестник ИГЭУ» Вып. 2 2010 г.

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

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПАРОВОДЯНОЙ КОРРОЗИИ ЭНЕРГБЛОКОВ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО ВОДОРОДА

Статистические данные по большому числу энергоблоков докритических и сверхкритических параметров мощностью от 50 до 600 МВт свидетельствуют, что примерно 56% вынужденных остановов были вызваны пароводяной коррозией [1]. Поэтому высокое значение приобретает разработка надёжных и оперативных методов контроля интенсивности коррозии металла в энергоблоках.

Источником водорода в паровой фазе могут быть водяной пар и дозируемые в питательную воду энергоблоков гидразин, аммиак и аминоксодержащие реагенты. На основе данных литературы [2] следует, что при температуре ниже 627°C можно пренебречь количеством водорода, образующегося вследствие термолитического разложения водяных паров. В данной работе рассчитаны доли поступающего в тракт молекулярного водорода от термолитического разложения дозируемых реагентов.

Объектом исследования является парогазовая установка мощностью 450 МВт в период пуска. Концентрация рабочего раствора аммиака составляет 0,1%. В таблице 1 приведены рассчитанные массовые доли компонентов реакции термолитического разложения аммиака.

**Таблица 1.** Массовые доли компонентов реакции термолитического разложения аммиака

	Контур низкого давления				Контур высокого давления			
	ПВ	КВ	НП	ПП	ПВ	КВ	НП	ПП
H <sub>2</sub> , мкг/л	78,58	62,60	22,29	10,92	34,59	87,46	33,41	20,02
N <sub>2</sub> , мкг/л	366,79	292,18	104,01	50,94	161,34	408,21	156,06	93,40
NH <sub>3</sub> , мкг/л	554,63	199,85	73,55	11,70	804,08	308,41	118,90	5,49

Таким образом, зная концентрацию водорода, который поступил в тракт в результате термолитического разложения аммиака, и общее количество водорода, возможно определить концентрацию молекулярного водорода, образующегося в тракте энергоблока вследствие коррозии.

### Литература

1. Акользин П. А., Маргулова Т. Х., Мартынова О. И. Водный режим паротурбинных блоков сверхкритических параметров. М., «Энергия», 1972. 176.
2. Бланк Ю. И. Термодинамические свойства и коэффициенты переноса водяного пара при высоких температурах и высоких давлениях. Одесса, 1968.

*С. К. Звонарева, студ.; рук. О. В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТСУТСТВИЯ ПРОБООТБОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОБЫ**

По отечественным и зарубежным данным [1] до 60% всех случаев вынужденных остановов энергоблоков связано с нарушением качества воды и пара. Внезапные или кратковременные нарушения качества воды или пара могут быть надежно зафиксированы только при непрерывном отборе проб и наличии автоматических приборов химического контроля. Важнейшим требованием к отбору пробы является представительность пробы, что достигается выбором конструкции и места расположения пробоотборных устройств. В настоящее время на действующих электростанциях, спроектированных без учета требований к системам химического контроля, в частности, к пробоотборным устройствам существует проблема отсутствия зондов в местах отбора пробы. В данной работе рассмотрено влияние отсутствия пробоотборного устройства на представительность пробы. Известно, что одно из условий отбора представительной пробы — скорость отбираемой среды равна скорости потока в основном трубопроводе [2].

В программном комплексе Ansys CFX был смоделирован процесс отбора пробы перегретого пара на энергоблоке ТЭЦ МЭИ. На основании данных моделирования показано, что скорость потока отобранной пробы снизилась более чем в 2 раза относительно основного потока среды. Как было отмечено выше, скорость отобранной пробы оказывает существенное влияние на содержание примесей. Если содержание какой-либо примеси будет превышать ее растворимость, часть такой примеси будет находиться в состоянии истинного раствора, а часть — в виде твердых частиц различной степени дисперсности, и снижение скорости приводит к осаждению данной примеси и обеднению пробы перегретого пара [3].

Таким образом, на действующих электростанциях необходима модернизация систем химического контроля в части оснащения котлов и паропроводов перегретого пара устройствами для отбора проб воды и пара.

### **Литература**

1. Принципы создания и опытно-промышленное внедрение систем химико-технологического мониторинга на электростанциях. Заключительный отчет: НИР / Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ), Кафедра технологии воды и топлива (ТВТ); Рук. темы В. Н. Воронов. — 2006. — 21 с.
2. РД 24.031.121-2012 Методические указания. Оснащение паровых стационарных котлов устройствами для отбора проб воды и пара. ОАО «ЦКТИ», 2012.
3. Химический контроль водного режима атомных электростанций / О. И. Мартынова, Л. М. Живилова, Н. П. Субботина. — М.: Энергия, 1980. — 208 с.

*С. К. Звонарева, студ.; рук. О. В. Егорова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА pH И КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В СИСТЕМАХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДЫ И ПАРА**

Эксплуатационная надежность водно-химического режима невозможна без качественной системы химико-технологического мониторинга. Большой объем химического контроля, выполняемый с помощью анализаторов лабораторного химического контроля, снижает надежность СХТМ [1]. С целью сокращения объема ЛХК и уменьшения нагрузки по расходу пробы на пробоотборные точки, в данной работе рассмотрены способы косвенного определения наиболее востребованных показателей, таких как: рН и концентрация аммиака на основе измерений удельной электропроводности прямой и Н-катионированной пробы [2].

На экспериментальной установке, на базе ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», проведен эксперимент с апробацией алгоритма определения рН и концентрации аммиака [3]. Выполнено сравнение результатов по трем различным способам определения нормативных показателей. С целью сравнения полученных значений по трем алгоритмам определены абсолютные погрешности. Показано, что в лабораторных условиях только третий алгоритм входит в диапазон 0,05 рН, что соответствует абсолютному значению погрешности рН-метра.

Для изучения работы алгоритмов в промышленных условиях обработана выборка из 900 значений удельной электропроводности за месяц. Объектом исследования являлся двухконтурный котел-утилизатор блока ПГУ мощностью 450 МВт. Отмечено, что в промышленных условиях рассчитанные значения рН по трем алгоритмам имеют одинаковый равномерный характер изменения, что свидетельствует об отсутствии принципиальных отличий в математическом описании алгоритма. Исходя из этого, определено, что алгоритмы расчета рН возможно использовать в качестве оценочного средства на энергетических объектах.

### **Литература**

1. **Б. М. Ларин, А. Б. Ларин.** Измерения электропроводности и рН в системах мониторинга водного режима ТЭС / Иваново, 2014. 332 с.
2. Методика расчета рН и концентраций ионных примесей питательной воды на ТЭС по измерениям удельной проводимости / А. Б. Ларин, А. Я. Сорокина // Вестник ИГЭУ, 2017. — № 2 — с. 13–17.
3. **Яровой В. О.** Алгоритм оценки качества ведения водно-химического режима // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. — 2016. — с. 145–145.

*А. Ю. Логинова, асп.;*  
*рук. Е. Н. Бушуев, д.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ НА ТЭС**

Вопросы энерго- и ресурсосбережения в промышленности достаточно актуальны. Водоподготовка на ТЭС и АЭС требует существенных затрат тепловой и электрической энергии, характеризуется большими потребностями в химических реагентах, фильтрующих материалах, а также в воде на собственные нужды. Большие расходы реагентов ведут к образованию значительного количества высокоминерализованных сточных вод. Проведенный обзор технических литературы показал существования множества предложений по ресурсосбережению в системах водоподготовки на ТЭС и АЭС, наиболее перспективными мероприятиями из которых, по мнению авторов, является применение [1–4]:

- мембранных методов обработки воды;
- технологий утилизации концентрата установок обратного осмоса;
- вихревых реакторов в обратноосмотических схемах обессоливания;
- технологий извлечения кислоты и щелочи из отработанных регенерационных растворов ионообменных фильтров.

При выборе ресурсосберегающей технологии необходимо учитывать также технологические, экологические и экономические показатели работы установок водоподготовки.

В настоящее время авторами ведётся разработка компьютерной программы по технологическому расчёту основных схем обессоливания воды. В ходе расчёта определяются основные технологические, экологические и технико-экономические показатели водоподготовительной установки. Программа позволит по результатам расчёта анализировать предлагаемые мероприятия по ресурсосбережению, оценивать их эффективность, а также определять область их применения.

### **Литература**

1. **Бушуев Е. Н.** Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС / Е. Н. Бушуев, Н. А. Еремина, А. В. Жадан // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2013. № 1. — С. 8-14.
2. **Юрчевский Е. Б.** О применении вихревых реакторов в обратноосмотических схемах обессоливания добавочной воды электростанций / Е. Б. Юрчевский // Энергосбережение и Водоподготовка. — 2015. № 6. — С. 23-30.
3. **Николаева Л. А.** Адсорбционная очистка обратноосмотического концентрата водоподготовительных установок ТЭС / Л. А. Николаева, А. Р. Миннеярова // Теплоэнергетика. — 2019. № 7. — С. 95-100.
4. **Малахов И. А.** Утилизация кислотно-щелочных сточных вод установок химобессоливания на ТЭС / И. А. Малахов // Теплоэнергетика. — 2000. № 7. — С. 15-19.

*А. В. Охлопков, асп.; рук. К. А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СТАРЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ОГНЕСТОЙКИХ МАСЕЛ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН БЛОКОВ ПГУ**

Вопросы повышения надежности работы маслосистем паровых турбин и другого основного тепломеханического оборудования, а также вопросы увеличения срока службы турбинных масел представляют широкий научный и производственный интерес.

Тема разработки, способов производства и вопросов продления эксплуатационного ресурса огнестойких масел активно прорабатывается в научной среде с середины 50-х годов XX-го века [1]. В настоящее время тема не потеряла актуальность в связи с наличием широкого парка работающего турбинного оборудования больших мощностей и развитием бутилированной технологии производства огнестойких гидравлических жидкостей на основе фенолфосфатов.

Итоговой целью моего исследования является проведение физико-химических испытаний по оценке влияния различных факторов на процессы старения огнестойких жидкостей в САР ПТ ПГУ (моделирование этих процессов) и возможности смешения огнестойких турбинных масел различных марок в системах регулирования паровых турбин ТЭС в процессе эксплуатации. На основе опыта использования импортных и отечественных масел в РФ и зарубежом сделаны выводы о влиянии произведённого продукта и режима эксплуатации на итоговое качество масла, информация показана на графике (рис. 1).

В докладе анализируются наиболее значимые факторы [2], влияющие на продление эксплуатационного ресурса огнестойких жидкостей. Также в докладе будет проанализирована актуальность нормативно-технической базы в исследуемой области и сделаны выводы о необходимости её изменения.

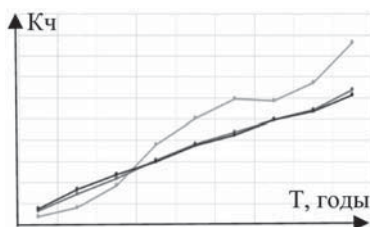


Рис. 1. Средние значения  $K_{ч}$

### **Литература**

1. **Огнестойкие турбинные масла.** Под ред. проф. К. И. Иванова. М., «Химия», 1974, 168 с.
2. **СТО 70238424.27.100.053-2013.** Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. НП «ИНВЭЛ», 2013.
3. **S. Cheraghi.** Опыт работы с огнестойким маслом для систем регулирования турбин на ТЭС «Рамин» // Теплоэнергетика. 2019. № 3, С. 33–41.

*Д. Ю. Миронова, студ.;*  
*рук. Т. И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛЮМИНИЯ**

В настоящее время на ТЭС для изготовления теплообменников, в частности, в градирнях Геллера, получили распространение сплавы на основе алюминия.

Концентрация алюминия в конденсатно-питательном тракте тепловых электростанций зависит от многих факторов, а именно, от рН среды, типа и концентрации корректирующих реагентов, используемых для ведения водно-химических режимов (аммиак, гидразин, фосфаты, смеси аминов) [1].

Для определения концентрации алюминия в пароводяном тракте энергетических установок используются фотометрические методы, которые основаны на взаимодействии ионов алюминия с различными органическими реагентами: стильбазо, алюминоном или ксиленовым оранжевым. Оптимальная область рН, в которой происходит образование комплексов алюминия с соответствующим реагентом, индивидуальна для каждого из реагентов. При  $\text{pH} < 2$ , проводить определения ни с одним из указанных реагентов нельзя [2].

Из используемых методов методика с алюминоном [3] применяется для определения концентрации алюминия не только в чистой воде, но и в воде, содержащей фосфаты в концентрациях больше  $10 \text{ мг/дм}^3$ ; чувствительность определения по этой методике составляет  $2 \text{ мкг}$  в пробе. Недостатком методики является изменение свойств раствора алюминона в течение короткого времени (2–3 дней). Методика со стильбазо характеризуется тем, что раствор реагента устойчив в течение более длительного времени.

Целью данной работы является выбор наиболее чувствительной методики определения концентрации алюминия в пароводяном тракте на тепловых электростанциях и оценка влияния присутствующих в воде корректирующих реагентов, в частности, аминов на определение концентрации алюминия.

### **Литература**

1. **Gazapo J.** Lectures 5104, Basic Approaches to Prevent Corrosion of Aluminium // TALAT 1994
2. **Шапиро Ю. М., Ничепуренков И.** Кинетический Фотокolorиметрический Метод Определения Алюминия в Пищевых Субстратах // Известия Вузов. Пищевая Технология, № 1, 2008. — с. 98–100
3. **ГОСТ 14048.14-80** Концентраты цинковые. Метод определения оксида алюминия

О. Е. Бабилов, студ. ;  
рук. С. М. Власов, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)

## ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Исходная вода содержит бактерии и водоросли, которые вызывают биологическое загрязнение энергетического оборудования (ЭО). ЭО обеспечивают идеальную среду обитания для микроорганизмов и бактерий, особенно при наличии градиента температур и застойных зон (в градирнях, конденсаторах, тушиковых узлах, ионообменных фильтрах, прудах-охладителях, очистных сооружениях, емкостях различного назначения) [1, 2].

Проблема биологического обрастания является актуальной. На данный момент используются несколько методов борьбы с биологическим загрязнением: макро- и микрофилтрация, ручная или автоматизированная механическая очистка поверхностей, физическое воздействие (ультрафиолетовое облучение, применение ультразвука, использование специальных пленок), химическая обработка (хлорирование, озонирование, бромирование), а также использование биоцидов.

Биологическое загрязнение является причиной снижения вакуума в конденсаторе на 1 кПа, уменьшения теплопередачи в 3,5 раза, нарушения режима работы теплообменного оборудования и башенных градирен, биологического отравления ионообменных смол, увеличения скорости коррозии оборудования, что ведет к снижению мощности энергетического предприятия до 1,5%.

Проведены реакционные исследования биологической активности на ЭО с помощью биодетекторов BART, определено количество (700 000 КОЕ/мл) и виды бактерий: Цианобактерии (*Lyngbya*, *Phormidium*, *Nostoc*, *Scytonemamultiramosum*, *Chroococcus*, *Gloeothese*), Нитчатые зеленые водоросли (*Cladophoraglomerata*, *Thallophyta*), Микробные слизи (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus*) [1].

\* Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых — докторов наук при Президенте РФ (Конкурс — МК-2020). Заявка № МК-424.2020.5.

### Литература

1. **Henk A. Jenner, John W. Whitehouse, Colin J. L., Taylor and Michel Khalanski.** Cooling water management in European power stations. Biology and control of fouling. *Hydroécol. Appl.* Tome 10, 1998.
2. **Чичирова Н. Д., Чичиров А. А., Власов С. М., Власова А. Ю.** Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ. *Теплоэнергетика.* 2015. № 7. С. 62.



*А. Е. Воронин, Ф. О. Выбойченко, студенты;  
рук. Т. И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ПЛЁНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ**

В настоящее время в засушливых районах или в регионах, где использование воды является дорогим, для охлаждения конденсата турбоустановок применяются градирни Геллера, в которых охлаждающей средой является воздух. В качестве основного конструкционного материала в такой системе охлаждения используются сплавы на основе алюминия.

Коррозийная стойкость алюминия зависит от многих факторов: состава сплава, концентрации и состава примесей, контактирующих с металлом, температуры, и pH раствора. Наибольшее влияние оказывает pH. Оксид алюминия на поверхности металла образуется только при pH от 3 до 9. Минимальная скорость коррозии наблюдается при значениях pH 5,0–5,5. В настоящее время для снижения скорости коррозии в пароводяном тракте ТЭС используются комплексные реагенты, в которых содержатся плёнообразующие амины, образующие на поверхности металла защитную плёнку. Основными показателями этой плёнки являются удельная сорбция и скорость образования. В литературе практически отсутствуют данные о скорости коррозии алюминия в присутствии этих реагентов, а также данные об удельной сорбции плёнообразующих аминов (ПОА) на поверхности алюминиевых сплавов. Одним из таких ПОА является олеилпропилендиамин (Oleyl Propilenediamine «OLDA»). Результаты исследований, приведённых в [1] показали, что скорость адсорбции OLDA на поверхности металла зависит от состава сплава одного и того же металла. Из результатов опытов следует, что адсорбция на «чистом» металле происходит быстрее по сравнению с металлом, покрытым оксидной пленкой. Стало известно, что при увеличении температуры скорость адсорбции OLDA увеличивается. Основная задача данной работы состояла в изучении влияния различных комплексных реагентов, содержащих ПОА, на скорость коррозии алюминиевого сплава применительно к температурным условиям работы градирни Геллера. В опытах использовались три реагента, содержащие ПОА.

### **Литература**

1. **D. Disci-Zayed, J. Jasper, W. Hater** Adsorption of Oleil Propilenediamin on Metal Surface. PPChem 2019, 21 (3) P. 146 –154.

*К. А. Губанова, студ.;*  
*рук. Ю. А. Морыганова, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЕ КОАГУЛЯНТЫ. СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

Проблема очистки сточных вод с каждым годом становится все более актуальной. При существующих технологиях водоподготовки с применением хлора или его производных возникает опасность образования в очищаемой воде хлорорганических канцерогенных соединений.

Применяемые в настоящее время в технологии водоподготовки коагулянты на основе алюминия и железа не способны достаточно глубоко очищать воду от органических соединений, особенно остро эта проблема встает в весенне-зимний период при низких температурах очищаемой воды.

В рамках данной работы были рассмотрены несколько образцов современных коагулянтов, такие как: алюмосиликатный раствор, коагулянт из красного шлама, новые алюминий содержащие коагулянты, активированный кальций-алюминат и новый коагулянт-флокулянт минеральный полиреагентный гель-сорбент (МППС). Были описаны свойства данных коагулянтов, способы их получения и применения, а также рассмотрены преимущества их применения относительно более старых коагулянтов или аналогов.

Исследование новых коагулянтов является очень важной задачей, так как с развитием технологий множится количество загрязнителей воды.

Принципиальное отличие новых современных коагулянтов от уже известных, в том числе и от прототипов, состоит в существенно ином подходе получения новых коагулянтов.

Новые коагулянты, выполняя свои функции, фактически являются в большей степени адсорбентами и при этом на поверхности частиц суспензии происходит адсорбция растворенных в воде как ионов тяжелых металлов, так и их гидроксидов, и основных солей.

### **Литература**

1. **Запольский А. К., Баран А. А.** Коагулянты и флокулянты в процессе очистки воды. Л: Химия, 1987 г., с. 48–79.
2. **Запольский В. А., Астрелин И. М., Лысенко С. В.** Исследование процесса получения смешенного коагулянта из отходов производства / Ж. прикл. Химии. — 1999, 62, № 11, с. 2611–2613.
3. **Петрищев А. И., Джанчатова Н. В.** Биомедицинская инженерия и биотехнология, — 2015 г., с. 89–92.
4. **Хрипун М. К., Караван С. В., Мюнд Л. А.** Коагулянт для очистки сточных вод, способ его получения и способ его использования.

**Секция 46**  
**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*

*А. Д. Водениктов, асп.;*  
*рук. Н. Д. Чичирова, д.х.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕАЭРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНДЕНСАТОРА КЦС-200-2**

На сегодняшний день более 80% электроэнергии на территории РФ производится на тепловых и атомных электростанциях. Конденсатор является неотъемлемой частью большинства паротурбинных установок ТЭС; от состояния конденсатора зависит надежность и экономичность всей паротурбинной установки [1].

Помимо обеспечения нормативного вакуума, позволяющего увеличить располагаемый теплоперепад, конденсатор также является первой ступенью деаэрации в системе регенеративного подогрева. Повышенные присосы в вакуумную систему, а также повреждение и засорение трубок приводят к ухудшению деарирующей способности конденсатора. Рост концентрации растворенного кислорода интенсифицирует коррозионные процессы в системе регенерации низкого давления. Наличие деаэратора позволяет поддерживать низкую концентрацию кислорода ( $10 \text{ мкг/дм}^3$  и менее) в системе регенерации высокого давления. Однако, полученные ранее окислы железа вместе с потоком воды уносятся в котёл, что может быть причиной повреждения поверхностей нагрева [2].

Для оценки деаэрационной способности конденсатора КЦС-200-2 было проведено наблюдение длительностью 6 месяцев, в ходе которого отслеживалась динамика изменения концентрации растворенного кислорода при изменении температуры охлаждающей воды.

Было установлено, что снижение температуры охлаждающей воды оказывает негативное влияние на деаэрационную способность конденсатора. Снижению температуры охлаждающей воды на  $10^\circ\text{C}$  и более привело к существенному увеличению концентрации кислорода за КЭН при практически неизменной величине присосов в вакуумную систему паровой турбины.

### **Литература**

1. **Бродов Ю. М., Савельев Р. З.** Конденсационные установки паровых турбин: Учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. **Оликер И. И., Пермяков В. А.** Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. Л.: Энергия, 1971.

*К. Н. Бубнов, асп.; рук. В. П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иванов)*

## **ПОСТРОЕНИЕ И КАЛИБРОВКА МАТРИЧНОЙ МОДЕЛИ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

На данный момент теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), находящиеся в трудных условиях функционирования на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ), должны конкурировать с другими объектами генерации. Часто это приводит к эксплуатации паротурбинных установок ТЭЦ в нерасчетных режимах, что в конечном итоге становится причиной возникновения нежелательных термических напряжений в элементах турбомашин, работающих под давлением, а также к низкой тепловой экономичности энергоблока ТЭЦ вследствие экономически нецелесообразного распределения электрической и тепловой нагрузок.

Для решения целого ряда подобных задач, стоящих перед персоналом энергокомпаний в эпоху цифровой экономики, предлагается использовать «цифровой двойник» (digital twin) паротурбинной установки ТЭЦ, разработанный на основании ее матричной модели в совокупности со значимыми эксплуатационными ограничениями. В частности, «цифровой двойник» может быть использован для моделирования и анализа фактических рабочих характеристик в сравнении с оптимальными характеристиками при различных режимах эксплуатации, а также для исследования основных причин отклонений в производительности и оценки экономической эффективности решений по оптимизации.

На первом этапе данного исследования была разработана математическая модель паротурбинной установки Т-100/120-130 в рамках методологии матричной формализации [1]. На основе энергетических характеристик для Т-100/120-130 была произведена калибровка данной математической модели. В результате откалиброванная математическая модель позволяет определить удельный расход тепловой энергии брутто на производство электроэнергии турбоустановкой со средним квадратичным отклонением менее чем в 50 ккал/(кВт·ч) во всем диапазоне изменения электрической нагрузки. Таким образом, создание адаптированных моделей паротурбинных установок с последующей их непрерывной калибровкой позволит решить задачи мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния паротурбинного оборудования.

### **Литература**

1. Бубнов К. Н., Барочкин А. Е., Жуков В. П., Ледуховский Г. В. Методика расчета энергетических характеристик теплофикационной турбины с учетом экономичности части низкого давления // Вестник ИГЭУ. — 2020. — Вып. 2. — С. 5–13.

*В. Ю. Наумов, студ.; Е. Б. Колисенко, студ.;  
рук. В. О. Киндра, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ НУЖД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА**

На сегодняшний день ключевым вектором развития энергетических секторов развитых стран мира является декарбонизация производства электроэнергии за счет повсеместного строительства ВИЭ [1]. При этом в качестве основного решения проблемы накопления энергии в больших объемах рассматривается водородное аккумулирование [2].

Создание инфраструктуры для производства, хранения, транспортировки и потребления водорода является масштабной задачей, реализация которой требует значительных финансовых и временных затрат. Для их снижения важно определить наиболее перспективные технологические решения. В частности, при выборе способа хранения водорода вблизи тепловой электрической станции ключевыми характеристиками являются объемы и стоимость хранилища.

По результатам расчетов установлено, что для паротурбинной установки мощность 300 МВт, снабженной водородно-кислородной камерой сгорания, на покрытие суточной пиковой нагрузки, равной 30 МВт·ч, необходимо сжечь смесь, состоящую из 1,38 т H<sub>2</sub> и 11,04 т O<sub>2</sub>. В этом случае наиболее компактным способом хранения водорода будет являться химическое связывание в форме аммиака, при котором объем хранилища составит 12,9 м<sup>3</sup> (таблица 1).

**Таблица 1.** Параметры хранения

Компонент	Масса, кг	Объем хранения, м <sup>3</sup>				
		Способ хранения				
		35 бар	100 бар	350 бар	Жидкое хранение	Аммиак
Водород	1380,0	494,9	179,9	59,2	19,5 (-253°C)	12,9
Кислород	11039,7	279,9	81,4	24,9	9,7 (-183°C)	-

### **Литература**

1. **Tagliapietra S. et al.** The European union energy transition: Key priorities for the next five years // Energy Policy. 2019. Т. 132. С. 950–954.
2. **Abe J.O. et al.** Hydrogen energy, economy and storage: review and recommendation // International journal of hydrogen energy. 2019. Т. 44. №. 29. С. 15072–15086.

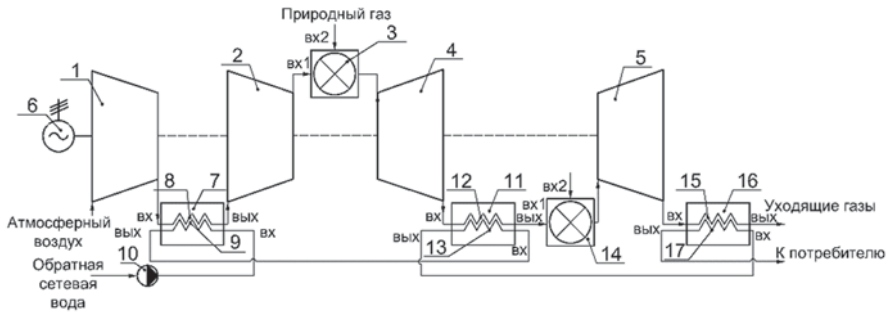
*В. Ю. Наумов, студ.; Е. Б. Колисенко, студ.;  
рук. В. О. Киндра, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ГАЗОТУРБИННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ КОМПРЕССОРА

При проектировании тепловых схем отопительных ГТУ-ТЭЦ важной задачей является предотвращение низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева газодынного теплообменника (ГВТО) в неотапительный сезон [1]. Для решения указанной проблемы разработана тепловая схема когенерационной газотурбинной энергетической установки, приведенная на рис. 1, отличительной особенностью которой является наличие воздушодынного теплообменника (ВВТО), служащего для предварительного нагрева сетевой воды.

Указанное техническое решение позволяет не только предотвратить низкотемпературную коррозию поверхностей нагрева ГВТО, но и снизить затраты энергии на сжатие воздуха в компрессоре на 13%. При этом соотношение выработанной электрической и тепловой мощности увеличивается с 64 до 68%.

Результаты исследования получены в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.



**Рис. 1.** Принципиальная схема КГЭУ: 1 — компрессор низкого давления; 2 — компрессор высокого давления; 3 — камера сгорания; 4 — газовая турбина высокого давления; 5 — газовая турбина низкого давления; 6 — электрогенератор; 7 — ВВТО; 8 — ВВТО высокого давления; 9 — ВВТО низкого давления; 10 — сетевой насос; 11 — ГВТО высокого давления; 12 — ГВТО среднего давления; 13 — ГВТО низкого давления; 14 — дополнительная камера сгорания; 15 — ГВТО высокого давления; 16 — ГВТО среднего давления; 17 — ГВТО низкого давления

### Литература

1. Патент на полезную модель № 2 727 274 от 21.07.2020. Авторы: Киндра В. О., Дудонин А. А., Лисин Е. М., Герасименко И. И.

М. С. Постникова, асп.; Д. Б. Куроптев, асп.;  
рук. А. С. Зонов (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (АЭС)

Повышение экономичности АЭС лимитируется температурой на выходе из ядерного реактора. Для увеличения эффективности использования тепловой энергии возможно осуществить переход от паротурбинного (ПТ) цикла к циклам, работающим на  $\text{CO}_2$  [1]. Низкие параметры критической точки, теплоемкость  $\text{CO}_2$ , большая, чем у продуктов сгорания, и свойства, близкие к несжимаемой жидкости в закритической области при относительно низких температурах позволяют объединять в себе преимущества паровых и газовых циклов.

В качестве исследуемого варианта был принят сверхкритический рекомпрессионный цикл Брайтона на  $\text{CO}_2$ . Поток  $\text{CO}_2$  разделяется на две части: часть с большим расходом охлаждается для снижения работы сжатия в компрессоре, сжимается в основном компрессоре и подогревается в низкотемпературном рекуператоре, другая часть, не охлаждаясь, сжимается в рекомпрессионном компрессоре. Далее оба потока соединяются и нагреваются в высокотемпературном компрессоре. Поступенчатый нагрев рабочего тела позволяет осуществить эффективную регенерацию тепла в цикле.

В работе было проведено исследование трех рекомпрессионных циклов на сверхкритическом  $\text{CO}_2$  с реакторами ВВЭР-1000, БН-800 и БРЕСТ-ОД-300, имеющими различный уровень температур на выходе из реактора и сравнительный анализ этих циклов с ПТ циклами АЭС, имеющими в составе соответствующие реакторы.

При начальных температурах рабочего тела на входе в турбину свыше  $455^\circ\text{C}$  рекомпрессионный цикл Брайтона на  $\text{CO}_2$  показывает более высокую эффективность в сравнении с ПТ циклом АЭС (рис. 1).

Результаты исследования получены в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.

### Литература

1. Dostal V. Analysis of supercritical  $\text{CO}_2$  Brayton Power Cycles in Nuclear and Fusion Energy / V. Dostal, J. Syblik, L. Vesely // Fusion Engineering and Design — 2019.

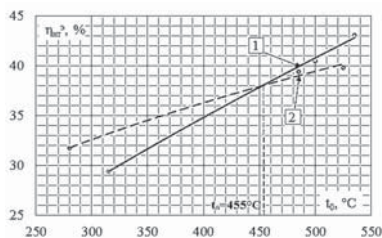


Рис. 1. Зависимости КПД нетто от начальной температуры рабочего тела перед турбиной:  
1 — рекомпрессионный цикл  $\text{CO}_2$ ,  
2 — традиционный паротурбинный цикл АЭС



*И. Б. Капланович, студ.; В. Ю. Наумов, студ.;  
рук. А. С. Зонов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЭС

Прогнозируем рост потребляемой электроэнергии, связанный с ростом мировой экономики, приводит к истощению запасов ископаемых углеводородов, являющихся топливом для тепловых электростанций. В целях недопущения чрезмерного увеличения себестоимости и, как следствия, цены на отпуск электроэнергии, необходимо повышать эффективность объектов генерации. Переход от традиционных теплоносителей к углекислотному рабочему телу может стать решением данной проблемы.

$\text{CO}_2$  обладает низкими критическими температурой ( $31,2^\circ\text{C}$ ) и давлением ( $7,38$  МПа), что позволяет создать цикл, вся работа которого проходит в сверхкритической области [1]. В результате чего снижаются потери в холодном источнике по сравнению с циклом Ренкина. В тоже время свойства  $\text{CO}_2$  в закритической области при невысоких температурах близки к свойствам несжимаемой жидкости, что обуславливает низкие затраты на сжатие относительно традиционных газотурбинных циклов.

По результатам исследования было установлено, что при начальной температуре свыше  $620^\circ\text{C}$  использование углекислотного сверхкритического цикла вместо паротурбинного на пилеугольных энергоблоках оказывается эффективнее на  $0,8\text{--}2,0\%$  (рис. 1).

Результаты исследования получены в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.



**Рис. 1.** Зависимости КПД нетто циклов от температуры рабочей среды на входе в голову турбины: 1 — паротурбинный цикл, 2 — углекислотный цикл

### Литература

1. **Варгафтик Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Рипол Классик, 1963.

*П. А. Брызгунов, студ.;*  
*рук. И. В. Шевченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСТУПАЮЩЕГО В КОМПРЕССОР ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

В настоящее время широкое распространение получили теплоэлектростанции на основе газотурбинных установок (ГТУ). Однако при эксплуатации ГТУ в регионах с жарким климатом возникает проблема существенного снижения вырабатываемой мощности и КПД установки, возникающая из-за снижения плотности воздуха при повышении температуры, что ведет к повышенным затратам энергии на работу компрессора [1].

Одним из способов повышения эффективности работы ГТУ в условиях жаркого климата является использование предварительного охлаждения воздуха, поступающего в компрессор при помощи абсорбционной холодильной машины (АБХМ), источником тепла для которой являются горячие выхлопные газы турбины [2]. Однако с увеличением температуры поступающего воздуха также происходит рост холодопроизводительности АБХМ, что ведет к повышенным затратам энергии на работу насосов, обеспечивающих расход теплоносителя.

В рамках данной работы был спроектирован энергоблок ТЭС на основе ГТУ Siemens SGT-800 с предварительным охлаждением поступающего в компрессор воздуха в АБХМ. Для данного энергоблока была разработана математическая модель, позволяющая рассчитать основные энергетические параметры энергоблока при различных температурах наружного воздуха и холодопроизводительности АБХМ. С использованием модели были проведены расчеты в диапазоне температур воздуха  $-15$ – $+50$ °С для поиска оптимальных режимов работы энергоблока для каждого значения температуры.

### **Литература**

1. **Наши Шахин, Хасан Акул.** Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели // март-апрель 2011 С. 8–11.
2. **П. А. Брызгунов, И. В. Шевченко.** Анализ возможности применения систем предварительного охлаждения воздуха на входе в компрессор ГТУ для южных регионов России // Сборник трудов III научно-технической конференции студентов «Энергетика. Технологии будущего». 20–22 мая 2020 г. С. 71–75

*Д. А. Лымарев, студ.; рук. Е. Т. Ильин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ**

Нагрузки в энергетических системах характеризуются суточной и сезонной неравномерностью. С ростом доли бытовых нагрузок в энергопотреблении эта неравномерность возрастает. Наряду с этим увеличивается доля атомных электростанций и станций возобновляемой энергетики, обладающих ограниченной маневренностью. Для снижения неравномерности графика нагрузки могут использоваться накопители энергии различного типа. В таблице представлены результаты анализа удельной плотности энергии некоторых накопителей различного типа [1].

Установка/Материал	Плотность энергии после преобразования, кВт·ч/кг
Водород	20–23
Свинцово-кислотный аккумулятор	0,02–0,039
Маховик из углеволокна	0,21–0,41

Высокая плотность энергии водорода при преобразовании обеспечивает приоритет его использования для аккумулирования. Кроме этого, накопитель должен обладать высокой способностью к началу мгновенного накопления энергии и ее выдаче, без длительного предварительного пускового разогрева оборудования. Использование электролиза для получения водорода позволяет быстро включать и при необходимости отключать электролизер. В этом случае получение водорода в часы провала нагрузки, позволяет увеличить уровень загрузки генерирующего оборудования и повысить его экономичность на 12–15%. В часы пиковых нагрузок водород и кислород, полученные в период зарядки аккумулятора, используются в топливных элементах для получения электроэнергии. При этом оптимизируется состав работающего генерирующего оборудования, повышается его экономичность. В результате, в целом по ЕЭС, можно достичь экономии топлива за сутки около 5%. Кроме этого, обеспечивается равномерная нагрузка основного генерирующего оборудования, повышается его надежность, снижается число пусков и остановов, снижается необходимость строительства специальных пиковых источников генерации. В этих условиях применение водорода в качестве накопителя энергии может стать рентабельным.

### **Литература**

1. Монография. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С. И. Козлов, В. Н. Фатеев; под ред. Е. П. Велихова; Открытое АО «Газпром», О-во с ограниченной ответственностью «Газпром ВНИИГАЗ» — Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. — 518 с.

А. С. Красичков, студ.: рук. В. Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПГУ

В настоящее время, современные энергетические ГТУ совершенствуют свои технико-экономические показатели различными способами. Одним из таких способов является применение подогрева топлива для повышения экономичности ГТУ. Современные фирмы поставляющие газотурбинные установки предоставляют такую опцию. По оценке компании GE, подогрев топливного газа можно производить до температуры 185°C. Подогрев топлива на ГТУ повышает их тепловую экономичность [1], однако влияние подогрева топлива на технико-экономические показатели ПГУ до конца не исследованы. Влияние характеристик ГТУ на экономичность ПГУ с КУ можно оценить, по известной формуле [2]:

$$\eta_{ПГУ}^{э.н} = \frac{N_{ПГУ}^{э.н}}{Q_G^C + Q_B} = \frac{k_N \cdot \eta_G^{ам} \cdot (1 - \varepsilon_{сн})}{K_{ПГУ} \cdot (1 - \beta_в)}$$

Расчет производился на примере блока ПГУ 400 МВт Нижневартовской ГРЭС с газовой турбиной MS9001FA. Расчет производился по условиям ISO (полное давление 101,3 кПа; полная температура 15°C; относительная влажность 60%). Рассматривались два варианта: подвод газа после ГДК и подвод магистрального газа высокого давления. При подогреве топлива с 25°C до 185°C (для схемы без ДК, подогрев топливного газа осуществлялся отбором воды из экономайзера высокого давления) КПД ПГУ нетто возрастает на 0,32%, при аналогичном подогреве (для схемы с ДК, подогрев топливного газа осуществлялся отбором воды из экономайзера среднего давления) КПД ПГУ нетто возрастает на 0,21%. В исследуемом интервале (100–200°C) повышение температуры подогрева топливного газа приводит к росту тепловой экономичности. Ограничение по температуре подогрева топлива устанавливается заводом-изготовителем.

### Литература

1. Цанев С. В., Буров В. Д., Земцов А. С., Осыка А. С. Газотурбинные энергетические установки; — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с.: ил.
2. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 584 с.: ил.

*А. Д. Угрюмов, А. С. Зиновьева, студенты;  
рук. Г. В. Ледуховский, д.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЭЦ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ЕЁ РЕКОНСТРУКЦИИ**

На этапе разработки технико-экономического обоснования реконструкции ТЭС решаются задачи определения показателей работы оборудования для нескольких альтернативных вариантов. При этом от точности решения данной задачи зависят и выводы по результатам последующих расчетов экономических показателей проекта. В докладе представлены результаты разработки математической модели промышленной ТЭЦ низкого давления, снабжающей целлюлозно-бумажный комбинат электрической энергией и паром, а также прилегающий населенный пункт — горячей водой. Реконструкция ТЭЦ проводится в рамках программы увеличения производственных мощностей и, соответственно, энергопотребления комбината.

Математическая модель станции построена путем синтеза подмоделей существующего на ТЭЦ оборудования, а также подмоделей планируемого к установке в соответствии с каждым вариантом реконструкции оборудования. Основой каждой подмодели являются энергетические характеристики агрегатов. Модель отличается тем, что обеспечивает итерационное сведение материальных, тепловых, электрических и топливного балансов, а при отсутствии изменений нагрузок и состава работающего оборудования возвращает показатели его работы в базовом периоде.

Показатели ТЭЦ для вариантов реконструкции с применением оборудования паросилового цикла определены нами ранее [1]. В рамках настоящего этапа работы модель расширена возможностью установки газовых турбин (ГТ) с котлом-утилизатором (КУ) и газопоршневых агрегатов (ГПА) как с КУ, так и без КУ. Удельные расходы условного топлива (пример для среднезимнего режима): на отпуск электроэнергии, г у.т./кВт·ч): 358,1 (ГТ+КУ); 443,5 (ГПА); 378,0 (ГПА+КУ); на отпуск тепловой энергии, кг у.т./ГДж: 41,68 (ГТ+КУ); 43,64 (ГПА); 41,87 (ГПА+КУ).

Окончательный вариант реконструкции будет выбран по результатам расчета экономических показателей. Предложенный подход к моделированию существенно упрощает и одновременно повышает точность расчета показателей эффективности вариантов реконструкции энергообъектов.

### **Литература**

1. **Техническая** модель промышленной ТЭЦ для обоснования вариантов её расширения / А. Д. Угрюмов, Г. В. Ледуховский // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXV Междунар. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Тез. докл. — М.: МЭИ, ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. С. 886.

*Д. И. Левенок, асп.; рук. Е. Т. Ильин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА**

На сегодняшний день активно исследуется применение аккумуляторов различного типа на ТЭС. Применение тепловых аккумуляторов фазового перехода (АФП) позволит значительно расширить регулировочный диапазон теплофикационных турбин.

Тепловые аккумуляторы фазового перехода характеризуются большими значениями удельной запасаемой энергии, по сравнению с аккумуляторами переменной температуры [1]. Но эффективность применения и схема работы аккумуляторов данного типа существенно зависят от выбора теплоаккумулирующего материала (ТАМ) и его теплофизических свойств, в частности от теплоты фазового перехода и температуры плавления [2]. Тепловая ёмкость АФП определяется, в основном, теплотой фазового перехода теплоаккумулирующего материала и ее температурой, которая определяет параметры запасаемого тепла и условия его использования. В нашем исследовании рассмотрены два ТАМ: технический воск ( $r_{т.в} = 146,9$  кДж/кг,  $T_{ф.п}^{т.в} = 73^{\circ}\text{C}$ ) и буроугольный воск ( $r_{б.в} = 138,8$  кДж/кг,  $T_{ф.п}^{б.в} = 89^{\circ}\text{C}$ ). Эффективность АФП существенно снижается из-за необходимости обеспечения температурных напоров в период зарядки и разрядки аккумулятора. В этом случае, при зарядке температура греющей среды должна быть выше температуры фазового перехода, а нагреваемой наоборот ниже, на величину температурного напора. Это снижает экономичность работы оборудования в период зарядки и уменьшает регулировочный диапазон изменения нагрузки оборудования. Проведенные расчетные исследования показали, что расширение регулировочного диапазона турбины Т-110-130, относительно работы по тепловому графику, при использовании АФП составит: от 10,2 МВт до 34,3 МВт, при использовании технического воска, и от 8,8 МВт до 28,8 МВт, при использовании буроугольного воска.

По предварительной оценке, увеличение маржинального дохода за год работы с аккумулятором фазового перехода составит 5,786 млн руб., при этом стоимость ТАМ составит 862 млн руб., соответственно капиталовложения в сам аккумулятор существенны.

### **Литература**

1. **Бекман Г., Гилли П.** Тепловое аккумулирование энергии: Перевод с англ. В. Я. Сидорова, Е. В. Сидорова. Под ред. В. М. Бродянского. — М.: Мир, 1987. — 272 с.
2. **Бабаев Б. Д.** Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы // ТВТ. 2014. Т 52. № 5. С. 760–776.

*О. А. Евдокимов, асп.; рук. В. Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВСАСЕ КОМПРЕССОРА ГТУ SGT5-4000F С ЕСТЕСТВЕННЫМ ИСПАРЕНИЕМ ВОДЫ**

При повышении температуры окружающего воздуха снижается КПД и электрическая мощность газотурбинной установки. По этой причине применяют различные способы охлаждения воздуха на всасе компрессора ГТУ: абсорбционные, пароконденсационные холодильные машины и испарительные охладители. Холодильные машины более эффективны, а испарительные установки получили широкое распространение благодаря относительно низкой стоимости.

На парогазовых энергоблоках ТЭЦ-16 и ТЭЦ-20 ПАО «Мосэнерго» реализованы инвестиционные проекты по модернизации КВОУ с монтажом испарительной установки с естественным испарением воды производства фирмы «Munters». В установке используется городская водопроводная вода, которая с помощью насоса подается и равномерно распределяется на секции испарителя. Вода подается сверху и медленно стекает вниз сквозь пористые кассеты «TURBodes». В это время небольшая часть оборотной воды испаряется, охлаждая и увлажняя воздух, а оставшаяся часть собирается в лотки и стекает в бак. Эффективность испарительного охлаждения повышается в сухую и жаркую погоду. Теоретически возможно охладить воздух до температуры мокрого (влажного) термометра при данных температуре и влажности [1].

При охлаждении циклового воздуха в комбинированном парогазовом цикле повышается КПД и мощность ГТУ, но вместе с тем снижается температура и увеличивается расход выхлопных газов. Это повлечёт изменение тепловой мощности котла-утилизатора, параметров перегретого пара и мощности паровой турбины. Необходимо оценивать влияние охлаждения воздуха на парогазовый энергоблок в комплексе. Во время испытаний на энергоблоке ПГУ-450 ТЭЦ-20 ПАО «Мосэнерго» при включении испарительной установки при температуре наружного воздуха 29°C и относительной влажности 24% температура перед компрессором понизилась на 9,7°C, что дало прирост электрической мощности энергоблока 19 МВт [2].

### **Литература**

1. **Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С. В. Цанева — М.: Издательство МЭИ, 2002.
2. **Богдан А. Р., Быличкин В. И., Буров В. Д.** Повышение экономичности ГТУ путем охлаждения циклового воздуха на входе в КВОУ // Турбины и дизели. 2020, № 5. С. 20.

*Д. И. Менделеев, Г. Е. Марьин, соиск.  
(АО «Татэнерго» филиал «Казанская ТЭЦ-2», КГЭУ, Казань)*

## **СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

При эксплуатации газотурбинных установок при повышении температуры окружающего воздуха выше  $+15^{\circ}\text{C}$  происходит потеря мощности газовой турбины. Охлаждение циклового воздуха на входе в газовую турбину — это один самых эффективных способов уменьшить влияние внешних условий и повысить эффективность газотурбинного цикла. При этом, данную модернизацию можно проводить как на строящихся, так и на уже действующих энергетических объектах.

Понижение температуры воздуха на входе в компрессор возможно достичь применением холодильных машин и испарительных установок [1]. Модернизация действующих газовых турбин наиболее предпочтительна первым вариантом, так как эта процедура не требует модернизации проточной части комплексно-воздухоочистительного устройства. Охлажденный воздух подается на всасывающий патрубок комплексно-воздухоочистительного устройства и смешивается с горячим воздухом.

Испарительная установка требует большого количества очищенной воды — она распыляется форсунками в проточной части комплексно-воздухоочистительного устройства, охлаждая, поступающий воздух. Затем вода улавливается коалесцирующий фильтрами и удаляется по дренажной системе. При такой схеме возможно попадание влаги в проточную часть компрессора. Для исключения такой ситуации необходимо установить дополнительную секцию коалесцирующих фильтров.

В данной работе рассмотрена работа испарительной системы охлаждения воздуха. Согласно результатам испытаний и технико-экономического обоснования, использование испарительного охладителя оказывает следующее влияние на газотурбинную установку: она позволяет при температуре  $+30^{\circ}\text{C}$  дополнительно вырабатывать дополнительные 4,7 МВт, при этом расход топлива, массовый расход воздуха остаются неизменными.

### **Литература**

1. **Mendeleev D. I., Marin G. E., Akhmetshin A. R.** Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // International Scientific Electric Power Conference — 2019: Series: Materials Science and Engineering: IOP Conference. 2019. Vol. 643. Issue 1. P. 012099. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/643/1/012099>



*Г. Е. Марьин, Д. И. Менделеев, соиск.  
(АО «Татэнерго» филиал «Казанская ТЭЦ-2», КГЭУ, Казань)*

## **К ВОПРОСУ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ВОДОРОДА**

В последние годы модернизация энергетического оборудования основана на внедрении газотурбинных установок. При этом, природный газ — это основной вид топлива для газовых турбин, но ГТУ могут сжигать другие виды топлива с различными термодинамическими параметрами. Современная экологическая политика создает вызовы и требования по снижению выбросов и уменьшения воздействия на экологию, что привело к вопросу использования альтернативных видов топлива. В связи с тем, что разные типы топлива имеют разный состав, то динамику горения необходимо прогнозировать и исследовать взаимозаменяемость топлива [1].

В данной работе был рассмотрен водород как топливный газ для газовой турбины. В отличие от природного газа, водород относительно имеет небольшой вес (0,023 кг по сравнению с 0,86 кг на 1 м<sup>3</sup>) и обладает высокой удельной теплотой сгорания 120 МДж/кг. Однако, организация горения такого топлива вызывает ряд трудностей: это и чистота водорода, и взрывоопасность при подготовки смеси. Водород можно использовать как в чистом виде, так и подмешивая его к природному газу. При этом не требуется модернизация уже установленной системы подготовки топливного газа. Для исследования влияния водорода на газотурбинную установку была создана математическая модель ГТУ GE 6FA в программном комплексе АС ГРЭТ.

При использовании водорода в качестве топливного газа как альтернатива природному газу происходит изменение термодинамических свойств (температура в камере сгорания, теплоемкость, удельный расход топлива) газотурбинной установки. Массовый расход воздуха же остается неизменным. Также, результат сокращения расхода топлива приводит к изменению системы подготовки топливного газа и снижению электроэнергии на собственные нужды.

### **Литература**

1. **Marin G. E., Mendeleev D. I., Akhmetshin A. R.** Analysis of Changes in the Thermophysical Parameters of the Gas Turbine Unit Working Fluid Depending on the Fuel Gas Composition // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (Vladivostok, 1–4 October 2019). Vladivostok: IEEE, 2019. P. 1–4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934021

*Н. В. Заложный, студ.;*  
*рук. Е. Н. Олейникова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ПГУ**

Исследование посвящено анализу эффективности модернизации ПГУ с помощью солнечных надстроек с целью получения так называемых гибридных установок.

В статье рассматривается схема внедрения в цикл ПГУ солнечной надстройки, предложенная в [1]. Идея данной надстройки заключается в том, что солнечные коллекторы дополняют испаритель высокого давления (дублируют его функционал). Питательным трактом для коллекторов является экономайзер высокого давления котла-утилизатора. Солнечные коллекторы генерируют насыщенный пар, который направляется в пароперегреватель высокого давления, где смешивается с основным потоком пара.

Приведена аналитика величины солнечной инсоляции за последние 5 лет для таких регионов как Москва, Омск, Хабаровск, Астрахань. Для сравнения приведена статистика из солнечных зарубежных регионов, таких как Калифорния (США), Испания.

Проанализирован эффект от внедрения солнечной установки в схему ПГУ для различных регионов РФ, проведено сравнение с зарубежными регионами, где традиционно применяются солнечные технологии.

Выявлена зависимость прироста мощности блока ПГУ-ТЭЦ на базе газовой турбины фирмы General Electric 6FA от величины надстраиваемой солнечной модификации, для различных средних величин солнечной инсоляции.

При максимально возможном расходе пара, генерируемом солнечной надстройкой, ожидается прирост значения тепловой и электрической энергии, превышающие значения той же схемы без солнечной надстройки на 11 МВт и 6 МВт соответственно. Ожидаемая величина прироста КПД 3,5% (пропорциональный метод) или 8% (физический метод).

### **Литература**

1. **James D. Spelling.** Hybrid solar gas-turbine power plants. A thermoeconomic analysis, KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology 100 44 Stockholm, Sweden

**Секция 47**  
**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*

*С. В. Кильчанов, студ.; рук. А. А. Коршикова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

Цифровизация в энергетике начинается с внедрения на энергоблоках киберфизических систем, в частности, систем мониторинга и диагностики.

В качестве объекта рассматривается конденсационная установка, входящая в состав оборудования турбоагрегата К-800-240-5 включающая в себя конденсационную группу 800 КЦС-5 [1]. В качестве данных для анализа буду использовать выборку, собранную при работе турбоагрегата регистрируемые каждый час в течении 2018 и 2019 года с некоторыми перерывами. [2]

На основании расчета коэффициента теплопередачи и мнения экспертов, данные могут быть разделены на обучающую выборку — 60% исследуемых данных (множество нормального функционирования) и тестирующую выборку — следующие 40% данных, в которых возможно имеются отклонения от нормального режима функционирования. Сначала рассчитывается расстояние и потенциалы между точками обучающего множества, далее определю расстояние и потенциал между точками тестирующего множества и всеми точками обучающего множества. В результате работы алгоритма, рассчитывается множество точек, которые выходят в аномальную зону работы конденсатора, вырабатывается критерий аномальности  $\varphi_{min}^{CP}$  который вычисляется при обучении модели, строятся графики, на которых можно наглядно увидеть результат обучения и вычисления потенциала в любой точке тестирующего множества. Метод машинной диагностики на три часа раньше замечает отклонение в сторону аномального режима, а далее почти повторяет определенные «классическим» методом точки аномального режима работы.

Это говорит о применимости алгоритмов машинного обучения, а в частности алгоритма, основанного на методе потенциальных функций для анализа состояния технологического оборудования в энергетике.

### **Литература**

1. Инструкция по эксплуатации паровой турбины К-800-240-5 (<https://vunivere.ru/work52252>)
2. Г. М. Борисов. Параметры диагностирования эксплуатационного состояния конденсатора паротурбинной установки.

*А. С. Помогаев, Д. М. Красненко, А. С. Штыленко, студенты;  
рук. Д. А. Дементьев, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИИ АКТИВАЦИИ НЕЙРОНОВ В НЕЙРОЛЕГУЛЯТОРЕ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ АСР**

В современной энергетике всё более освещаемой темой становится повышение энергоэффективности технологических объектов и систем. Существует огромное число факторов, влияющих на неё [1]. Повышение качества регулирования оказывает непосредственное влияние на энергоэффективность в сторону её увеличения. Поэтому всё больше внимания уделяется разработке новых алгоритмов регулирования, например, интеллектуальных алгоритмов [2].

Использование искусственной нейронной сети в качестве регулятора было продемонстрировано в [3]. При разработке новых алгоритмов управления необходимо исследовать систему комплексно. В данном исследовании было изучено применение различных функций активации для выявления той, при которой показатели качества регулирования будут наилучшими. В качестве объекта регулирования были взяты два апериодических звена и звено запаздывания.

В качестве функций активации были приняты следующие функции:

- Логарифмическая;
- Гиперболическая;
- Линейная с насыщением;
- Радиальная базисная.

В результате исследования были получены:

- Графики сравнения переходных процессов при воздействии возмущения по каналу регулирования с использованием различных функций активаций нейронов нейрорегулятора;
- Расчёт и сравнение показателей качества регулирования при использовании различных функций активации нейронов нейрорегулятора.

### **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. **Ж. Л. Лорьер.** Нейронные сети. Системы искусственного интеллекта / Ж. Л. Лорьер. 1991 год. — 568 с.
3. **Казьмирук И. Ю., Сабанин В. Р., Дементьев Д. А.** Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. — 2019. — № 4. — С. 91–96

*Д. М. Красненко, А. С. Штыленко, А. С. Помогаев, студенты;  
рук. Д. А. Дементьев, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ**

Применение математических моделей значительно облегчает изучение и понимание исследуемого объекта. Модель является абстрактным объектом, позволяющим исследовать реальные процессы, их структуру и свойства гораздо проще, быстрее и экономичнее, чем при исследовании реальных объектов. Составляя модели сложных систем, а в частности, модели интеллектуальных регуляторов, возникают задачи оптимизации, которые имеют свойства многокритериальности, сложной конфигурации, наличия нескольких переменных и нестационарность целевой функции [1]. Для решения поставленных задач выбирается наиболее подходящий алгоритм, в соответствии с требованиями к результату решаемой задачи. Перед нами часто ставится вопрос выбора альтернативного решения, и, естественно, желание сделать правильный выбор приводит к постановке задачи оптимизации-поиска варианта, превосходящего другие по некому критерию. Но для того, чтобы выбрать — необходимо знать все преимущества и недостатки каждого метода и его алгоритма.

В выбранной теме доклада рассматриваются различные алгоритмы методов оптимизации для решения локальных и глобальных задач моделирования. Описана необходимость возникновения, а также математическая и логическая основа алгоритмов.

Классификация рассматриваемых методов и их алгоритмов:

- Детерминированные методы;
- Стохастические методы;
- Эвристические методы (эволюционные, роевые и др.).

Результатом работы является сравнительная характеристика рассмотренных алгоритмов, определение уровня эффективности и количества ресурсов, которые необходимы каждому из них. В работе описываются преимущества и недостатки каждого из алгоритмов и осуществляется выбор в сторону того или иного, который будет использован для нашего исследования оптимизации интеллектуальных регуляторов.

### **Литература**

1. **А. В. Андрияшин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов.** Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, — 392 с.: ил.

*А. С. Штыленко, А. С. Помогаев, Д. М. Красненко, студенты;  
рук. Д. А. Дементьев, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА ШИМ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Автоматические системы регулирования объектов обычно рассчитываются с использованием типовых линейных законов регулирования [1]. Однако, как показывает практика, все реальные объекты регулирования представляют собой нелинейные элементы, которые в процессе нагрузки или разгрузки изменяют свои параметры. При невозможности определения связи динамических свойств объекта и детерминированной режимной величиной используются принципы интеллектуального управления [2]. Данные технологии регулирования позволяют полностью автоматизировать процесс настройки таких технологических объектов управления.

В данном исследовании разрабатывается новый алгоритм управления, в основе которого лежит нейронная сеть. Для этого было проведено комплексное исследование, в котором рассматривался вопрос влияния длительности импульса на качество работы системы регулирования.

В рамках исследования были произведены следующие действия:

- Рассмотрены три структуры нейронной сети;
- Для каждой из структур были проведены опыты по влиянию длительности импульса на качество переходных процессов;
- Проведена качественная оценка работы системы регулирования при изменении параметров объекта управления.

В результате исследования были получены:

- Графики сравнения качества переходных процессов при изменении структуры нейронной сети;
- Графики сравнения изменения регулируемой величины при изменении длительности импульсов по каналу регулирования;
- Графики сравнения изменения регулируемой величины при изменении параметров объекта управления.

### **Литература**

1. **А. В. Андрушин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов.** Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, — 392 с.: ил.
2. **Ж. Л. Лорьер.** Нейронные сети. Системы искусственного интеллекта / Ж. Л. Лорьер. 1991 год. — 568 с

*Г. В. Росляков, И. А. Мельников, В. Ю. Стрелков, студенты;  
рук. Е. Д. Максимова, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА СКРЫТЫХ СЛОЕВ В НЕЙРОГУЛЯТОРЕ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В современном мире все больше требований предъявляются автоматическим системам регулирования [1]. Одним из наиболее важных требований является качество регулирования. Для удовлетворения растущих запросов прибегают к нестандартным алгоритмам регулирования, а именно к алгоритмам на основе искусственных нейронных сетей [2, 3]. Известно, что искусственные нейронные сети при увеличением количества звеньев и, соответственно, количества скрытых слоев работают существенно лучше в задачах идентификации и распознавании образов на изображении. В данных задачах четко прослеживается необходимость в увеличении количества скрытых слоев в искусственных нейронных сетях за счет большого числа искомых параметров. Поэтому возникает потребность проверки данной гипотезы.

В данном исследовании в качестве нейрорегулятора была выбрана прямонаправленная нейронная сеть, которая содержала от двух до пяти скрытых слоев с фиксированным количеством нейронов в каждом слое. За объект были взяты два апериодических звена и звено запаздывания.

В результате исследования были получены:

- Графики работы технических средств автоматизации.
- Графики переходных процессов для различных структур искусственной нейронной сети.

В качестве показателя качества регулирования был выбран модульный интегральный показатель качества. По показателям качества было проведено сравнение различных структур нейрорегулятора для объектов с различными постоянными времени и временем запаздывания.

### **Литература**

1. **А. В. Андрияшин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов.** Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, — 392 с.: ил.
2. **Ж. Л. Лорьер.** Нейронные сети. Системы искусственного интеллекта / Ж. Л. Лорьер. 1991 год. — 568 с
3. **Казьмирук И. Ю., Сабанин В. Р., Дементьев Д. А.** Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. — 2019. — № 4. — С. 91–9



*В. Ю. Стрелков, И. А. Мельников, Г. В. Росляков, студенты;  
рук. Е. Д. Максимова, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ В НЕЙРОРЕГУЛЯТОРЕ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В век цифровой трансформации производства идет активное развитие новых направлений в автоматизации систем управления. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области являются алгоритмы управления на основе искусственных нейронных сетей [1].

Активно ведутся разработки автоматических систем управления с нейрорегуляторами, поэтому прослеживается необходимость в создании общей методики настройки таких систем [2].

В данном исследовании было изучено влияние обратных связей в нейрорегуляторе на качество регулирования. Была изучена работа следующих структур искусственных нейронных сетей:

- Искусственная нейронная сеть с двумя скрытыми слоями и одним информационным входом и выходом с обратной связью на последний нейрон.
- Искусственная нейронная сеть с двумя скрытыми слоями и одним информационным входом и выходом с обратной связью на первый нейрон.

В качестве объекта регулирования были выбраны два апериодических звена и звено запаздывания. В работе проводились опыты при различных постоянных времени объекта и при различном времени запаздывания.

В результате были получены:

- Графики переходных процессов для различных постоянных времени объекта для разных структур нейрорегулятора.
- Графики переходных процессов для разного времени запаздывания объекта для разных структур нейрорегулятора.
- Сравнительный анализ показателей качества для различных структур регулятора для разных объектов исследования.

### **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. **Казьмирук И. Ю., Сабанин В. Р., Дементьев Д. А.** Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. — 2019. — № 4. — С. 91–9

*И. А. Мельников, Г. В. Росляков, В. Ю. Стрелков, студенты;  
рук. Е. Д. Максимова, аспирант (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА НЕЙРОНОВ В НЕЙРОРЕГУЛЯТОРЕ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В современном мире все больше появляется идей о регулировании с помощью интеллектуальных алгоритмов регулирования, так как у искусственных нейронных сетей есть свое конкурентное преимущество в сравнении с другими алгоритмами управления — адаптировать свое состояние в ответ на внешние воздействия [1]. Появляется все больше работ, в которых проводятся исследования нейрорегуляторов, как для простых, одноконтурных автоматических систем регулирования, так и для более сложных систем управления [2]. При этом, в области нейрорегулирования нет общей методики разработки алгоритма управления.

Для разработки такой методики необходимо изучить различные структуры искусственной нейронной сети. Поэтому в данном исследовании рассмотрено влияние количества нейронов в скрытых слоях нейрорегулятора на качество процесса регулирования. В качестве объекта выбрано два аperiodических звена и звено запаздывания. Нейрорегулятор представляет из себя прямонаправленную нейронную сеть с двумя скрытыми слоями, одним информационным входом и выходом.

В результате исследования были получены:

- Графики переходных процессов для различных постоянных времени объекта в зависимости от увеличения количества нейронов в скрытых слоях.
- Графики переходных процессов для разного времени запаздывания объекта в зависимости от увеличения количества нейронов в скрытых слоях.
- Сравнительный анализ показателей качества при различном количестве нейронов в нейрорегуляторе при различных постоянных времени объекта и времени запаздывания.

### **Литература**

1. **Ж. Л. Лорьер.** Нейронные сети. Системы искусственного интеллекта / Ж. Л. Лорьер. 1991 год. — 568 с
2. **Казмирук И. Ю., Сабанин В. Р., Дементьев Д. А.** Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. — 2019. — № 4. — С. 91–9

*В. Ю. Чайкин, В. А. Петров, студенты; Христенко Б. А., аспирант;  
рук. И. А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТРОЛЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЯХ**

Зачастую в энергоэффективных зданиях электричество является единственным внешним источником поступления энергии. Особенно это касается нашей страны, где трудно обеспечить поставку газа или тепла в отдаленные населенные пункты. В связи с этим основным показателем эффективной работы экономичного дома является его потребление электричества из сети. Поэтому необходимо обеспечить его учет для анализа и корректирования работы различных систем дома.

В рассматриваемом энергоэффективном доме в Пушкинском районе Подмосковья, была смонтирована система приборов учета электрической энергии. Её возможности позволяют производить мониторинг потребления основных элементов теплоснабжения и вентиляции. Так, например, производится контроль потребления электроэнергии на: бытовые нужды, бойлер ГВС, приточно-вытяжная установка (ПВУ), насос контура солнечных коллекторов, насос контура отопления, тепловой насос, и энергия солнечных с солнечных батарей. Сбор данных производится при помощи счетчиков электроэнергии, подключенных к системе ПТК «ПолиТЭР».

По итогам внедрения системы сбора показаний потребления электроэнергии система мониторинга приобрела все необходимые пути сбора информации о доме. Так, стало возможно вычисление коэффициента трансформации (СОР), в режиме реального времени, благодаря использованию данных, полученных от тепловычислителей КАРАТ-307, также установленных в системе мониторинга. Среднее значение этого коэффициента за октябрь 2020 года оказался равным 4,94. Помимо этого, можно получать данные о работе насосов солнечных коллекторов, с помощью которых можно получать тепло от солнца тратя лишь небольшое количество энергии на работу насосов. При анализе данных за тот же период было установлено, что на работу насосов солнечных коллекторов и контуров отопления было потрачено 4,8 кВт·ч, а тепло, полученное от солнца, составило 135,1 кВт·ч. Таким образом, можно сделать вывод о высокой эффективности использования солнечных коллекторов.

Учет электричества в дальнейшем позволит развивать системы эффективного дома. На данный момент планируется установка солнечных батарей и поэтому нужно обеспечить отлаженный сбор данных по потреблению и генерации электроэнергии. Внедрение подобной системы позволяет считать исследуемый объект полностью функционирующей экспериментальной площадкой. На ее основе будут проведены исследования по использованию льдоаккумуляторов и воздушного теплового насоса.

*Ю. А. Кузнецова, студ.;*  
*рук. К. В. Сахаров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП**

Одной из главных задач, согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г. [1], является обеспечение должной степени безопасности в сфере энергетики. В свою очередь, достижение необходимого уровня безопасности в энергетике неразрывно сопряжено с безопасностью, в том числе информационной, автоматизированных систем управления технологическими процессами (далее АСУ ТП).

В настоящее время проверка требований информационной безопасности в подсистемах АСУ ТП, в большинстве случаев, выполняется на площадках заводов — изготовителей, что имеет следующие недостатки: отсутствие систематизированного подхода к проведению проверок, большое количество программных и аппаратных компонентов от разных производителей, требующих индивидуального подхода.

На данный момент существует довольно большое количество источников угроз информационной безопасности АСУ ТП (включающих в себя описание и классификацию), такие как: банк данных угроз ФСТЭК России, американские базы уязвимостей MITRE CVE, базы данных датской компании Secunia Research, открытая база данных OSVDB и т.п. Большое количество источников и рассредоточенность информации негативно влияет на скорость обнаружения, предупреждение и устранение угроз.

С целью минимизации влияния вышеуказанных факторов предлагается систематизировать информацию об источниках и типах киберугроз АСУ ТП. Впоследствии это поможет избежать ущерба и сопутствующих затрат, связанных с компьютерными атаками на АСУ ТП, либо ускорить процесс восстановления после возможных кибератак.

### **Литература**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

*Т. А. Назарбоев, студ.; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОСЕТИ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ**

Следующая технологическая революция будет связана с нейротехнологиями и кардинальным увеличением производительности умственного труда за счет интеграции мозга человека и вычислительных машин. Прогнозирование играет ключевую роль при формировании баланса в энергосистеме, влияя на выбор режимных параметров и расчетных нагрузок. Применение нейронных сетей позволяет получить точность прогнозирования энергопотребления на уровне 96–97%, что дает возможность повысить эффективность энергосбытовых компаний. [1]

Целью работы является проведение обзора и анализа литературы для формирования целостного представления о ИНС, её применения, прогнозирования различных явлений в таких направлениях как: автоматизация процесса классификации, автоматизация прогнозирования, автоматизация процесса принятия решений; управление, кодирование и декодирование информации. [2]

Возможности нейронных сетей реализованы во множестве различных программных продуктов: соответствующие библиотеки имеются для таких языков программирования, как Си/C++, Pascal, Java, Scala, Python, R и Visual Basic. Библиотеки для нейронных сетей хорошо интегрируются с аналитическими хранилищами данных, построенными, например, на основе Hadoop. Также с их помощью создаются нейросетевые алгоритмы решения задач, представляющие собой вычислительные процедуры, реализованные с помощью ИНС. [3]

В дальнейшем ИНС поможет развиваться энергетике, улучшая энергетические инфраструктуры (интеллектуализация, мультиагентное управление, масштабированность, самоорганизация и т.п.). [4]

### **Литература**

1. Национальная технологическая инициатива (Нейронет) (<https://nti2035.ru/markets/neuronet>).
2. **Галушкин А. И.** Большая российская энциклопедия. Нейронные сети.
3. **Саймон Хайкин.** Нейронные сети: полный курс. — М.: Вильямс, 2008. — С. 1103. ISBN: 5845908906
4. **Каменев А. С., Королев С. Ю., Сокотущенко В. Н.** “Нейро моделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных”. 2012 г.

*О. К. Кохова, студент; рук. Ю. Ю. Ягупова, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ТЭЦ СО СЛОЖНЫМ СОСТАВОМ ОБОРУДОВАНИЯ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ПОСТАНОВКЕ**

В России на сегодняшний день повышение энергетической эффективности является одной из самых приоритетных задач. Общий кризис в экономике нашей страны вызвал замедление технического прогресса, что привело к тому, что в РФ на выработку единицы электроэнергии расходуется почти в 1,5 раз больше, а на отопление на 1 м<sup>2</sup> жилья в 2 раза больше, чем в соответствующих странах зарубежья. Также большую роль играет оборудование этих станций, которое эксплуатируется уже много лет и является устаревшим, что не обеспечивает требуемые экономические, надежные и экологические параметры эксплуатации оборудования. Эти данные позволяют сделать вывод, что проблема повышения энергетической эффективности весьма актуальна. В данной работе мы рассмотрим один из способов повышения энергетической эффективности — оптимальное распределение текущей нагрузки на ТЭЦ [1].

Для снижения экономических показателей ТЭЦ и оптимального распределения текущей нагрузки со сложным составом оборудования в многокритериальной постановке будет производиться учет экономичности, надежности, экологичности [2]. Многокритериальная оптимизация — процесс одновременной оптимизации двух или более конфликтующих целевых функций в заданной области [1]. Применение данного способа приведет к оценке работы агрегата с разных сторон, выявив три показателя, которые необходимо учитывать при оптимизации режима работы ТЭЦ.

Таким образом, определив компромиссное решение, учитывающее важность каждой целевой функции, мы получим оптимальное решение нашей задачи. Обеспечим эффективную работу отдельной теплоэлектроцентрали, и получим увеличение энергетической эффективности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №№ 20-38-90146\20)*

### **Литература**

1. **Э. К. Аракелян, Г. А. Пикина.** Оптимизация и оптимальное управление / Издательский дом МЭИ, 2008 г. — 408 с.
2. **Г. П. Гладышев, Р. З. Аминов, В. З. Гуревич.** Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС // Под ред. А. Андрющенко. — М.: Высш. шк., 1991. — 303 с.: ил.

*П. С. Паноченко, студент; И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

На сегодняшний день распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [1]. Одной из целей этой стратегии является внедрение инновационных решений, которые повысят эффективность российской энергетики.

В ходе данной работы проведен обзор и анализ литературы с целью определения оптимальных режимов работы энергетических систем. Основным назначением выполняемого проекта является повышение эффективности функционирования различных элементов энергетических систем с помощью генетических алгоритмов. Применение генетических алгоритмов позволяет существенно сократить время поиска оптимального решения. Для математического аппарата эволюционного моделирования и поиска экстремума функций с применением генетических алгоритмов не представляет сложности наличие локальных минимумов. Кроме того, необходимо отметить, что увеличение размерности задачи не приводит к экспоненциальному росту объема вычислений [2].

Дальнейшее исследования в рамках выбранного направления нацелены на постановку и решение задач поиска экстремума целевой функции, описывающей эффективность функционирования конкретной единицы энергетического оборудования с использованием генетических алгоритмов при оптимизации режимов работы энергосистем.

### **Литература**

1. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации.
2. Генетический алгоритм выбора распределённой генерации. В. В. Тарасенко // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 14. С. 16.

*К. О. Мацко, студент; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕДИКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**

В энергетике выработано несколько стратегий технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которые обеспечивают повышение эффективности эксплуатации оборудования. Сейчас повсеместно применяется подход к ТОиР, который заключается в минимизации затрат, путем проведения профилактического ремонта и поддержании оборудования в надлежащем техническом состоянии, а также обеспечении его работоспособности [1].

В работе проведен обзор и анализ литературных источников о существующих методах и системах обслуживания оборудования. К методам профилактического обслуживания относится предиктивное техническое обслуживание PdM (Predictive Maintenance) [1]. Предиктивное обслуживание обеспечивает проведение только тех работ в рамках ТОиР, которые необходимы. Эта стратегия реализуется на основе исходных данных, собираемых от различных систем, имеющих на объекте энергетики (например, SCADA). Полученные данные позволяют определить техническое состояние оборудования, реализовать прогнозирование появления дефектов, отклонения в режимах функционирования, а также возникновение сбоев и отказов [2]. Данные поступают в режиме реального времени, без остановки эксплуатируемого оборудования [3]. Система предиктивного обслуживания увеличивает срок службы энергетического оборудования за счет устранения неисправностей на ранней стадии, сокращает незапланированные дорогостоящие простои и предотвращает возникновение отказов и аварийных ситуаций.

В работе исследуется стратегия предиктивного технического обслуживания, которая обеспечивает высокий уровень надежности. Показан методический пример для конкретной единицы оборудования.

### **Литература**

1. **Решетников С. О., Иванов С. Л., Абашев А. Р.** Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования нефтеперерабатывающих предприятий. 2017. С. 109–114.
2. **Ажмухамедов И. М., Гостюнин Ю. А.** Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования сетей связи на предприятиях нефтегазового комплекса. — Астрахань: 2017. — № 2.
3. **Южно В. Е., Панько В. С.** Разработка методики и программного обеспечения для ежедневного автоматизированного планирования ремонта оборудования. — SIBCON.: 2017.



*В. А. Агибалов, М. К. Белов, А. Н. Долгушев, студенты;  
рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС**

Одной из проблем современного энергетического сектора является снижение энергоэффективности объектов генерации в процессе их эксплуатации [1]. Поэтому решение задачи выявления и локализации в тепловой схеме дефектов оборудования может существенным образом повлиять на энергоэффективность ТЭС.

В связи с тем, что в процессе эксплуатации энергетические объекты подвергаются множеству негативных воздействий, то со временем их параметры сильно меняются. Современные автоматические системы не способны показать оператору станции разницу в параметрах между реальными данными мониторинга и эталонной моделью тепловой схемы объекта управления. Для проведения полного анализа состояния элементов тепловой схемы необходимо внедрять цифровые модели, которые с достаточной точностью смогут имитировать работу оборудования при различных режимах работы.

В связи с этим возрастает актуальность разработки и применения систем цифрового моделирования на энергетических объектах.

В данной работе будут составлены математические модели объекта, разработана архитектура ПО и на основе выбранного языка программирования, получен программный продукт для создания эталонной цифровой модели оборудования тепловой схемы ТЭС, предназначенный для сравнения реальных данных мониторинга информационной подсистемы АСУТП и результатов моделирования для заданного режима. Что позволит находить с большой точностью и локализовать дефекты в тепловой схеме, а также поможет строить тенденции их развития.

### **Литература**

1. Энергоэффективность и развитие энергетики: Государственная программа Российской Федерации // Министерство энергетики Российской Федерации. — 2016 г., 235 с.

*Р. С. Глотов, студент; рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОИСК ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИЙ ПРИ РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЭНЕРГЕТИКИ**

Данная работа направлена на исследование повышения эффективности функционирования оборудования энергетики [1]. В современных реалиях целью новой Энергетической стратегии определено достижение структурно и качественно нового состояния энергетики, максимально содействующего динамичному социально-экономическому развитию и обеспечению национальной безопасности Российской Федерации.

В процессе работы проведен анализ литературы и способов решения данной проблемы для оптимизации решения задач энергетики. Для решения большинства оптимизационных задач используются методы математического программирования: линейное программирование (нахождении экстремального значения линейной функции многих переменных при наличии линейных ограничений, связывающих эти переменные), нелинейное программирование (целевая функция и ограничения могут быть нелинейными функциями), динамическое программирование (для отыскания оптимального решения планируемая операция разбивается на ряд шагов и планирование осуществляется последовательно от этапа к этапу) и т. д. Главный недостаток данных методов состоит в том, что: ресурсные ограничения могут не позволить решить задачу. Поэтому в последнее время широкое распространение получили генетические алгоритмы.

В качестве основы проведения расчетов и анализа режимов используется математическая модель, позволяющая выполнить параметрический, структурный и многокритериальный анализ задачи [2]. Так же одним из эффективных методов оптимизации являются методы непараметрической поисковой оптимизации [3].

В дальнейшем данное исследование может пригодиться для увеличения срока эксплуатации, надежности и эффективности оборудования, все это в дальнейшем существенно повлияет на экономическую выгоду.

### **Литература**

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р
2. Рубан А. И. Методы оптимизации: Учебное пособие / А. И. Рубан. Изд. 2-е, исправленное и дополненное. Красноярск: НИИ ИПУ, 2001. С. 231–302.
3. В.Н. Костин.: Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие. — СПб.: СЗТУ, 2003. — 120 с.

*А. Э. Пихенько, студент;  
рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ**

Сложность технологических цепочек предприятий в энергетике заключается в том, что нарушение нормального функционирования небольшого объекта инфраструктуры может привести к нарушению работы всей системы. Поэтому для обеспечения требуемого уровня работоспособности системы необходима правильная организация процесса технического обслуживания оборудования. С развитием технологий были выработаны различные стратегии [1].

В результате изучения литературы и сравнения существующих подходов технического обслуживания наиболее оптимальной стратегией для обеспечения надежного функционирования системы была выбрана СВМ для критически-важного и дорогостоящего оборудования [3], что как раз подходит для оборудования в области энергетики. Стратегия СВМ позволяет снизить количество ремонтных работ и максимально использовать ресурс оборудования.

Данное обслуживание выполняется в зависимости от того, какие параметры нам выдают системы сбора данных (сенсоры и датчики), на которые и направляется информация об оборудовании. После чего эти данные сравниваются с данными при аварийном режиме [2].

При использовании этой стратегии выявляются имеющиеся и развивающиеся дефекты оборудования, также оптимальный срок проведения ремонтных работ в энергетике.

### **Литература**

1. **Ажмухамедов И. М., Гостюнин Ю. А.** Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования сетей связи на предприятиях нефтегазового комплекса. 2017
2. **Юхно В. Е., Панько В. С.** Разработка методики и программного обеспечения для ежедневного автоматизированного планирования ремонта оборудования. 2017
3. **Годунова А. О.** Анализ применимости современных подходов к обслуживанию оборудования на отечественных предприятиях.

*К. А. Кобзева, студ.; И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ**

RCM (Reliability-Centered Maintenance) — техническое обслуживание, которое направлено на обеспечение надежности оборудования. Методология RCM основана на постулате, согласно которому поддержание единицы оборудования в безупречном состоянии (согласно предписанием ее производителя) не является самоцелью, целью же является обеспечение надежности критичных для деятельности предприятия производственных и технологических процессов [1].

Задачей данной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) является обеспечение надежности оборудования, аварийный отказ которого будет критичен для деятельности производства. При этом, несмотря на то что прямые затраты на проведение ТОиР снижены, данный подход невозможен без проведения большого количества диагностических процедур технологического оборудования. Для того, чтобы найти резервы для сокращения затрат на ТОиР, необходимо обеспечить прозрачность и обоснованность ремонтной программы.

Отличие технологии RCM от общепринятой технологии состоит в том, что тип воздействия выбирается из четырех программ: реактивной, превентивной, проактивной, прогнозной.

Достоинствами данной системы ТОиР являются повышение надежности производственной системы в целом, минимизация рисков при максимально возможной эксплуатационной готовности основных фондов с учетом бюджетных ограничений и различного рода рисков; создание базы данных для управления системой технического обслуживания; увеличение ресурса дорогостоящего оборудования; повышение эксплуатационных показателей оборудования.

А недостатками является сложность этапа оценки значимости оборудования; игнорирование вероятности отказа оборудования, что может привести к нерациональному выбору стратегии ТОиР для каждой единицы оборудования.

Рассмотрен методический пример применения RCM для энергетических объектов.

### **Литература**

1. Brauer D. C., Brauer G. D. Reliability-centered maintenance // IEEE transactions on reliability. — 1987. — Т. 36. — № 1. — С. 17–24.
2. Gabbar H. A. et al. Computer-aided RCM-based plant maintenance management system // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.

*Ю. В. Шкловский, студент.; рук. Ю. Ю. Ягупова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВАЖНОСТЬ УЧЕТА КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ТЭЦ**

ТЭЦ — сложный и крайне важный для инфраструктуры объект, и задача его оптимизации является приоритетной, так как от стабильности работы ТЭЦ зависит огромное множество предприятий и других объектов, являющиеся потребителями энергии, отпускаемой ТЭЦ.

По определению, оптимизация — процесс максимизации выгодных характеристик, соотношений и минимизации расходов. Задача оптимизации сформулирована, если заданы: критерий оптимальности, варьирующие параметры, изменение которых позволяет влиять на эффективность процесса, математическая модель процесса и ограничения, связанные с экономическими и конструктивными условиями, возможностями аппаратуры, требованиями безопасности и другое [1]. Поскольку ТЭЦ является сложным агрегатом, состоящим из многих отдельных элементов, оптимизация их совместной работы является очень трудоёмким процессом, в ходе которого необходимо учитывать огромное количество констант и переменных (критериев), что означает усложнение и без того сложной математической модели ТЭЦ. Поэтому для составления максимально точной и в то же время удобной модели, необходимо оценить влияние каждого из критериев и решить, какие из них влияют на работу системы больше, а какие меньше.

В данной работе предлагается оценить важность учёта критериев двух блоков: критериев надёжности и критериев экологичности, рассмотреть каждый из блоков отдельно, показать как тот или иной пункт повлияет как и на процесс, так и на итог оптимизации данного режима на ТЭЦ.

### **Литература**

1. **А. М. Прохоров.** Большая советская энциклопедия. 3-е изд. / М.: Сов. Энциклопедия, 1969–78.

М. Е. Репкин студ.; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Технологии с использованием нечеткой (fuzzy) логики и множеств позволяют, в некоторой степени, заменить человека в процессе принятия решений. Нечеткая логика дополняет классическую логику добавлением промежуточных значений между „истинной“ и „ложью“, позволяя детальнее рассмотреть явление (например, вода и не „горячая“ и не „холодная“, но ее состояние между этими двумя состояниями: вода — „теплая“) [1], симулируя, с некоторой степенью точности процесс принятия решений человеком-оператором, оперирующим большим числом суждений, чем 2 крайних положения [2].

Развитие этой технологии может помочь развитию автоматизации производства и построению более справедливого общества [3].

Целью этой работы является проведение обзора и анализа литературы для формирования целостного представления о теории нечетких множеств и логики, выделения важных направлений этой теории, и использование ее на практике. [4] [5]

Исследование и применение этой теории на практике, несомненно, должно снять значительную нагрузку с операторов систем управления, увеличит эффективность вложений труда. Эта технология, в частности, и развитие автоматизированных систем управления, в общем, так же снизит затраты труда и позволит уменьшить присутствие человека и его загруженность на руководящих постах.

### Литература

1. **L. Biacino, Г. Герла** Нечеткая логика, преемственность и эффективность. *Архив по математической логике*. 41 (7): 643–667. DOI: 10.1007/s001530100128
2. **Заде Л. А.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М: *Мир*, 1976 166 с.
3. **Smidth F. L.** Computing with a human face. *New Scientist*, 6 мая 1982
4. **Yasunobu S., Miyamoto S., Ihara H.** Fuzzy control for automatic train operation system, in Proc. 4th. IFAC/IFIP/IFORS Int. Congress on Control in Transportation Systems, *Baden-Baden*, Апрель, 1983.
5. **Е. Н. Mamdani**, “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant,” in Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. 121, no. 12, pp. 1585–1588, Декабрь 1974, DOI: 10.1049/piee.1974.0328.

*Е. А. Безуглов, студ.; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Развитие искусственных нейронных сетей в настоящее время меняет работу целых отраслей, например прогнозирование дефектов оборудования. Прогнозное техническое обслуживание в первую очередь включает в себя предвидение поломок системы, подлежащей обслуживанию, путем обнаружения ранних признаков отказа, чтобы сделать работу по техническому обслуживанию более эффективной. [1]

Целью работы является проведение обзора и анализа литературы для формирования целостного представления о ИНС и их применения: автоматизация прогнозирования, управление, кодирование и декодирование информации, аппроксимация зависимостей и др. [2]

Применение теории ИНС в целях прогнозирования дефектов оборудования является одним из примеров той синергии, когда применение сравнительно доступных средств и методик позволяет избежать разрушительных последствий в тех случаях, когда стандартизированные средства контроля в совокупности с традиционным подходом не могут обеспечить полноценного контроля и мониторинга состояния оборудования, что в свою очередь может привести к экономическому и иному ущербу, значительно превосходящему затраты на внедрение рассмотренной технологии. [3]

В дальнейшем прогнозирование дефектов с помощью ИНС позволит наиболее рационально распределять ограниченное количество различных ресурсов, а также и избежать критических последствий в ситуациях, когда недостатки какой-либо из рассматриваемых в данном ключе систем не были вовремя обозначены, а их надежность оказалась изначально завышенной.

### **Литература**

1. **Sule Selcuk** Predictive maintenance, its implementation and latest trends. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture. 2016. Vol 231. № 9.
2. **Галушкин А. И.** Большая российская энциклопедия. Нейронные сети.
3. Теория искусственных нейронных сетей как инструмент прогнозирования параметрических отказов оборудования судовой энергетики / Д. К. Осипов, А. Ю. Зыбкин, Р. Р. Загороев [и др.]. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 47 (285). — С. 96–100. — URL: <https://moluch.ru/archive/285/64322/>(дата обращения: 07.11.2020).

*В. В. Пудзырей, студент;  
рук. И. А. Щербатов к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В настоящее время прогнозирование является актуальным и необходимым процессом управления бизнесом и принятия решений касаясь деятельности предприятия. На основании полученных данных можно скорректировать ход работы всего предприятия, тем самым получить наиболее высокие результаты, а так как главной целью любой коммерческой деятельности является получение прибыли, то и благодаря хорошей стратегии занять наиболее выгодное финансовое положение на рынке. [1]

Существуют различные методы машинного прогнозирования для использования с данными временных рядов: простые методы прогнозирования, регрессионное прогнозирование, сглаживающие методы. ИНС обладают рядом преимуществ перед другими методами, например: возможностью решения задач при неизвестных закономерностях, устойчивостью к шумам во входных данных, потенциальным сверхвысоким быстродействием. Все эти особенности чрезвычайно важны в энергетике. [2]

ИНС позволяют с успехом решать задачи прогнозирования для объектов энергетики, проблемы распознавания образов, выполнения прогнозов, оптимизации, ассоциативной памяти и управления. Для этих целей созданы такие нейронные сети как: Сеть Хопфилда, Сеть Элмана, Нейронный газ [3] [4]

В дальнейшем ИНС смогут более точно спрогнозировать работу как отдельных энергетических объектов, так и всей энергетики в целом путём выработки более успешной энергетической политики, обработки данных по поиску и добычи энергоресурсов и т.д.

### **Литература**

1. Пен Т. В. Создание математической модели для решения экономических задач, используя математический аппарат «нейронная сеть» — 2019. № 3 (241). С. 109–112
2. Портал искусственного интеллекта (<http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/advantages.html>)
3. Кенин А. М., Мазуров В. Д. «Опыт применения нейронных сетей в экономических задачах». 2013. 8. С. 43–50
4. Martinez T. M., Berkovich S. G., Shulten K. J. Neural gas network for vector quantization and its application for forecasting time series // IEEE Trans. on neural networks, 1993, No. 4. — P. 558–569.



*Е. Е. Сирик, студент; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Методика CBM — condition based maintenance применяется для эффективного планирования технического обслуживания и ремонта (ТОиР) на основе фактического состояния энергооборудования. То есть работы выполняются в зависимости от того, какую информацию об оборудовании дают системы сбора данных в режиме реального времени — от сенсоров и других датчиков, которые измеряют определенные параметры. Использование данного подхода позволяет обнаруживать неисправность на ранней стадии ее развития по результатам мониторинга и технической диагностики состояния с использованием средств неразрушающего контроля [1]. Система сбора показаний сопоставляет их с данными, характерными для аварийного состояния, и таким образом делается вывод о необходимости обслуживания еще до выхода энергооборудования из строя. Заблаговременное обнаружение дефектов дает возможность более качественно подготовиться к выполнению работ, сократить простой, снизить количество отказов, а также стоимость аварийного обслуживания объектов тепловой энергетики [2].

Использование методики CBM позволяет более точно распланировать капитальные вложения в техническое обслуживание и ремонт оборудования, и благоприятствует будущему снижению расходов в этой области, так как уменьшается количество часов регламентированного обслуживания и выполняются только определенные ремонтные воздействия в нужное время.

Автор исследует постановку задачи и изучение применения данной стратегии для оборудования энергетики.

Научным новшеством является синтез алгоритма применения стратегии для оборудования энергетики.

### **Литература**

1. **Решетников С. О., Иванов С. Л., Абашев А. Р.** Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования нефтеперерабатывающих предприятий // MASTER`S JOURNAL. 2017. № 1. С. 110–111
2. **Южно В. Е., Панько В. С.** Разработка методики и программного обеспечения для ежедневного автоматизированного планирования ремонта оборудования // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 2017. С. 2–4

*М. А. Рошин, студент; рук. И. А. Щербатов. к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ И ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ СТАНЦИЙ**

На сегодняшний день, главной целью энергетической политики нашей страны является эффективное распределение и использование потенциала всех электроэнергетических предприятий, а также достижение наилучшего технического состояния всевозможных теплоэлектростанций. В ходе наблюдения за Энергетической стратегией России на период до 2030 года “Об энергосбережении и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” от 13.11.2009 года № 1715-р, Правительством Российской Федерации было принято распоряжение от 09.06.2020 № 1523-р об утверждении новой Энергетической стратегии России на период до 2035 года [1].

В результате выполнения данной работы, будет проведен обзор и детальный анализ всевозможной литературы с целью нахождения верного решения оптимизационных задач. Рассмотрены способы решения поставленных задач с использованием генетических алгоритмов, наиболее подходящих к условиям объектов теплоэлектроэнергетики.

Решение задач на оптимизацию заключаются в нахождении  $\min/\max$  целевой функции, зависящей от входных параметров. В задачах такого рода требуется найти значения входных параметров, при которых функция достигает  $\min/\max$  значения [2]. Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что генетические алгоритмы, используемые при решении оптимизационных задач, существенно упрощают задачу поиска верного решения, т. к. обладают концептуальной простотой, широко применимы и устойчивы к различным изменениям [3].

Дальнейшее направление исследования направлено на решение оптимизационных задач и оптимальном управлении режимами станций, при помощи генетических алгоритмов.

### **Литература**

1. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации.
2. **Панченко Т. В.** Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 с.
3. **Скобцов Ю. А., Сперанский Д. В.** Эволюционные вычисления: учебное пособие. «ИНТУИТ» 2015. — 331 с.

Д. А. Чечеткин, студент;  
рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В настоящее время для решения многих практических задач в различных сферах человеческой деятельности широкое распространение получили нейронные сети. Данные модели искусственного интеллекта используются при диагностике, прогнозировании, в решении оптимизационных задач, а также в задачах распознавания образов и анализа изображений [1]. Обладая высокой аппроксимирующей способностью, нейронная сеть, обучившись на экспериментальных данных, способна решать поставленные задачи с высокой степенью точности.

В результате обзора литературы была выбрана самая популярная и широко применяемая нейронная сеть, а именно: сверточная нейронная сеть — *Convolutional Neural Network (CNN)* [2, 3]. *CNN* использует серию фильтров с необработанными пиксельными данными изображения для извлечения и изучения функций более высокого уровня, модель которой затем может использоваться для классификации.

Подобные системы используются в различных областях человеческой деятельности. Их эффективность определяется возможностями математического аппарата искусственных нейронных сетей: самообучаемостью, адаптивностью, аппроксимирующей способностью и другими важными свойствами. Кроме того, при построении нейросетевой модели можно управлять не только параметрами обучения нейронной сети, но и выбирать ее архитектуру, что также влияет на эффективность применения построенной модели.

### **Литература**

1. **Маркин Е. И., Зупарова В. В., Сальников И. И.** Распознавание рукописного текста с использованием нейронных сетей // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 3–2. С. 44–47.
2. **Солдатова О. П., Гаршин А. А.** Применение сверточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр // Компьютерная оптика. 2010. Т. 34. № 2. С. 252–259.
3. **Катасёв А. С., Катасёва Д. В., Кирпичников А. П.** Распознавание рукописных символов на базе искусственной нейронной сети // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 11. С. 173–176.

*Ю. Т. Закиева, студент;  
рук. К. В. Сахаров к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АСУ ТП**

На построение эффективной защиты промышленных автоматизированных систем управления следует обратить особое внимание, так как количество кибератак с каждым годом неуклонно растет, что может сказаться не только на сохранности личных данных и экономических показателях страны/региона/предприятия, но и на безопасности населения.

Меры защиты информации должны обеспечить: исключение неправомерного блокирования, уничтожения, модификации информации, а также, при необходимости, копирования, предоставления или её распространения; наличие антивирусной защиты, идентификации и аутентификации пользователей, управление доступом; оперативное реагирование на инциденты информационной безопасности; контроль целостности программного и аппаратного обеспечения конечных точек информационной инфраструктуры, сетевого окружения, анализ трафика и защищённости критически важных узлов АСУ ТП.

Они могут быть реализованы за счет использования встроенных в системное программное обеспечение АСУ ТП, операционных систем, BIOS механизмов защиты информации, средств антивирусной защиты, активного сетевого оборудования и средств межсетевого экранирования [1]. Тем не менее, применение средств защиты информации в АСУ ТП может потенциально оказывать негативное влияние на надежность [2] и иные показатели работы и функционирования подсистем АСУ ТП.

В работе анализируется и оценивается степень влияния применяемых для защиты от компьютерных атак средств защиты информации на функционирование подсистем АСУ ТП.

### **Литература**

1. Приказ ФСТЭК России от 14.03.2014 N 31 «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».
2. РБ-100-15 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций».

*Т. В. Чубур, студент; рук. И. А. Щербатов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Основная задача диагностики является определение средств работоспособности оборудования. Вследствие полученной информации можно решать поставленные задачи восстановления ресурса работоспособности, исследование способов и условий ее продления. По этой причине, главной целью диагностики является подготовка максимально возможной и точной информации о существующих недостатках и причинах их развития [1].

Принципы диагностирования [2]:

- Проверка технического состояния оборудования.
- Исследование и розыск места и определение источников неисправности.
- Прогнозирование состояния.

Повышение надежности и эффективности энергетического оборудования, уменьшение потерь электроэнергии являются основными проблемами, стоящими перед современной энергетикой [3].

Главная задача — провести исследование полученной информации и проанализировать изученную литературу для формирования единого представления о предметах обсуждения.

В работе проведены исследования полученной информации, обращено внимание на вопросы: как используется и где применяется диагностика.

В предстоящем сборе материала необходимо более глубоко изучить примененные диагностики нейросетевыми технологиями.

### **Литература**

1. **Бабокин Г. И., Шпрехер Д. М.** Применения нейронных сетей для диагностики систем // Научная статья, 2011.
2. **Васенин А. Б.** Анализ методов диагностики и прогнозирования состояния энергетических установок. № 8/2018.
3. **Фаустов К. И.** “Нейронные сети: применение сегодня и перспективы развития” // Научная статья, 2017.

*А. А. Косой, асп., рук. Э. К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ**

Сложную задачу повышения степени интеллектуальности АСУ ТП на базе современных ПТК для существенного прироста КПД производства энергии уже много лет решают, используя иерархический подход. Разработка методических положений интеллектуальной системы управления технологическими процессами тепловой электрической станции является одной из подзадач в этом иерархическом подходе, направленной на поиск и теоретическую апробацию новых методов построения и настройки интеллектуальных регуляторов. Выбор оптимальной структуры и дальнейшая настройка параметров интеллектуальных регуляторов являются нетривиальными задачами, ставящими повышенные требования к квалификации и опыту проектировщика, но и обеспечивающими в дальнейшем значительный прирост в качестве и надёжности процессов регулирования и управления технологическим объектом [1]. Были разработаны программные комплексы для генерации обучающих и тестовых выборок к разрабатываемому нейросетевому блоку автоматического управления. В работе представлены примеры сравнения работы автоматических систем регулирования моделей отдельных узлов электрической станции с примерами работ различных интеллектуальных регуляторов. Интеллектуальные регуляторы превосходят классические регуляторы по простоте времени (циклов симуляции), так как их интеллектуальность и заключена в способности улучшаться со временем, то есть обучаться. Так как всё разнообразие типовых объектов управления в теплоэнергетике описано в фундаментальных теоретических трудах, можно проводить работы по дальнейшему обучению нейросетевого модуля, вручную, раз за разом, меняя структуру объекта управления, автоматически генерируя обучающие и контрольные данные. Это большая, но необходимая работа. С помощью разработанного тренажёра и готовых теоретических моделей объем этой работы становится обозримым.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-19-00601)*

### **Литература**

1. **Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Изд-во «Физматлит», 2001. 224 с.

*Б. А. Борцов, студ., Ю. Ю. Ягупова, асп.,  
рук. Э. К. Аракелян, профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В МНОГОСВЯЗНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

Исследование заключается в сравнении качества работы и сложности настройки многомерных классических многомерных регуляторов с работой интеллектуальных регуляторов, использующих методы глубокого обучения. Первоначально численными методами мы находим оптимальные параметры ПИД-регулятора, чтобы минимизировать сумму интегральных критериев двух процессов, управления и регулирования. А затем, в структуре нейросетевого регулятора, полученные параметры ПИД-регуляторов являются промежуточным слоем и считаются уже субоптимальными величинами. Ошибкой же обучения является отличие от нуля суммы интегральных критериев полученных процессов.

Полученная система, в отличие от описанного выше настройщика ПИД-регуляторов, не только посылает в имитационную модель свои параметры регулятора, ожидая от неё ответ по качеству регулирования данными настройками. Но и сама в промежуточном слое формирует свою имитационную модель, параметры которой она корректирует, обучаясь на ответах из нашей первоначальной имитационной модели.

В данной работе мы получили и отработали условно-игровой формат обучения интеллектуального регулятора. На начальных этапах он соревнуется с численными методами оптимизации ПИД-регуляторов, а затем, после достижения высокого уровня предсказаний ответов из внешней системы, ему уже не требуется имитационная модель.

На данном этапе оптимизации параметров уже нейросетевой модуль способен к дальнейшему обучению на более сложных задачах. Мы можем задавать дальнейшие условия и ограничения, усложняя и приближая нашу модель к реальному объекту, а нейросетевой регулятор будет уже соревноваться не с настроенными на элементарные модели ПИД-регуляторами, а будет пытаться вернуться к своим рекордам по качеству регулирования в новых незнакомых и усложнённых условиях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-19-00601)*

*В. В. Кемкин, студент; рук. К. В. Сахаров к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП**

На данный момент проведение испытаний в части информационной безопасности АСУ ТП включает в себя предварительные, опытную эксплуатацию и приемочные испытания. Во многих случаях, выполняется в зонах ответственности заводов изготовителей, соответственно появляются следующие недостатки: отсутствие систематизированного подхода к проведению испытаний, большое количество программных и аппаратных компонентов от разных производителей, требующих индивидуального подхода.

Существуют инстанции, задающие требования к проведению испытаний ИБ АСУ ТП: международные (IEC 62645 [1], NSS 17 [2]) и государственные (ФСТЭК 31 [3], 239 [4]). Отсутствие единой системы определения требований значительно замедляет проектирование и ввод новых комплексов ИБ АСУ ТП.

Систематизация информации о требованиях к проведению испытаний ИБ АСУ ТП может служить предпосылкой к разработке ПО формирования программ и методик испытаний защищенности комплексов ИБ АСУ ТП, которое помогло бы значительно сократить время на разработку и проведение испытаний.

### **Литература**

1. IEC 62645-2019. Nuclear power plants — Instrumentation, control and electrical power systems — Cybersecurity requirements.
2. IAEA Nuclear Security Series № 17. Computer Security at Nuclear Facilities.
3. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю № 31 «Об утверждении требований к обеспечению Защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».
4. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической инфраструктуры Российской Федерации».



*К. А. Симаков, асп.; рук. Э. К. Аракелян, д.т.н., проф., (НИУ«МЭИ»)*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ГАЗО-ПОРШНЕВЫМИ АГРЕГАТАМИ**

Основными преимуществами применения газо-поршневых электростанций являются более высокий КПД — до 87–95% (за счет когенерации), применение в качестве топлива природного газа, значительно более дешевого, чем дизельное топливо, что снижает стоимость произведенной электроэнергии и тепла в 2–4 раза. При этом газо-поршневые агрегаты (ГПА) имеют достаточно низкий уровень выбросов вредных веществ, надежны в эксплуатации и способны длительное время работать при частичных нагрузках без ущерба для своего ресурса и незначительным снижением КПД. Вместе с тем при работе электростанций с ГПА на пониженных нагрузках, например, при прохождении провалов в графиках электропотребления возникает проблема оптимального распределения суммарной электрической нагрузки между генерирующими агрегатами. Обусловлено это, во-первых, нелинейными энергетическими характеристиками ГПА и во вторых, различием текущего технического и, соответственно, их состояния по показателям надежности работы как на частичных нагрузках, так и при останове с последующим пуском. В докладе рассматриваются методические подходы многокритериальной постановки задачи оптимального распределения электрической нагрузки с учетом факторов экономичности и надежности применительно к автономной электростанции мощностью 25 МВт с 6-ю ГПА мощностью по 1057 кВт (первая очередь) и 6-ю ГПА мощностью по 3047 кВт (вторая и третья очереди по 3 агрегата) при работе станции в зимнем режиме. Графики электрической нагрузки характеризуются ночными и дневными провалами нагрузок длительностью соответственно 4–5 и 5–6 часов.

Решение поставленной задачи предлагается реализовать в два этапа, для чего генерирующее оборудование станции рассматривается в виде «эквивалентных» агрегатов с суммарной мощностью агрегатов, входящих в состав данной группы. В данном конкретном случае состав эквивалентных групп определяется составом ГПА по очередям их внедрения. На первом этапе внутри каждой группы в пределах возможного диапазона изменения электрической нагрузки производится оптимальное распределение нагрузки на базе принятых критериев. На втором этапе по полученным эквивалентным характеристикам, составляется целевая функция как сумма эквивалентных характеристик агрегатов станции. Оптимальное значение целевой функции в соответствии с принятым критерием оптимизации находится выбранным методом оптимизации. Предлагаемый подход имеет то преимущество, что алгоритм оптимального распределения электрической нагрузки можно реализовать с постепенным усложнением в ходе поэтапного строительства электростанции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-19-00601)*

*К. В. Евсеев, асп.; рук. Э. К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДГОТОВКА АРХИВНЫХ ДАННЫХ РАБОЧЕЙ СТАНЦИИ ПТК АСУ ТП ДЛЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ**

Современные программно-технические комплексы (ПТК) автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) обрабатывают огромные массивы данных и отслеживают большое количество технологических параметров. При этом не все входные сигналы оказывают одинаковое влияние на результат расчёта величин, необходимых для принятия стратегических решений управления [1] — среди них можно выделить ряд наиболее влияющих с помощью инструментов регрессионного анализа [2]. Для решения этой задачи необходим массив исходных данных большого объёма, содержащий значения входных сигналов, технологических параметров, и выходных величин, таких как параметры ТЭП генерирующей системы. Необходимые для анализа данные могут быть получены из архивной станции ПТК.

В работе исследовано взаимодействие с расчётной станцией ПТК Квинт. Для получения необходимых параметров необходимо знать их марки сигналов, представляющих собой буквенно-цифровое имя параметра. Для дальнейшего анализа полученные из базы данных значения удобно представить в виде CSV-файла — текстового формата представления табличных данных. Экспортированный из расчётной станции ПТК Квинт CSV-файл содержит заголовок, в котором отражены марки экспортированных сигналов, их порядковый номер в документе, наименования соответствующих параметров и краткие статистические сведения (минимальное, максимальное, среднее значения и количество величин). После заголовка содержатся экспортированные данные: время регистрации значения, порядковый номер сигнала и значение, представленное в текстовой форме, включающее единицы измерения.

Представленные в описанном виде данные необходимо преобразовать прежде чем их можно использовать для анализа. В работе для обработки данных применяется язык Python и его модули Pandas и NumPy.

Исследование выполняется с поддержкой РНФ, грант № 19-19-00601.

### **Литература**

1. **Аракелян Э. К.** Применение объектно-ориентированного подхода к задаче оптимизации информационных потоков в интеллектуальной АСУТП / Аракелян Э. К., Евсеев К. В. // III международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики», 19–23 октября 2020, НИУ «МЭИ», г. Москва.
2. **Аракелян Э. К.** Методика повышения точности расчёта тэп генерирующих систем с применение машинного обучения / Аракелян Э. К., Евсеев К. В., Болдырев И. А., Султанов М. М., Юров В. А. // III международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики», 19–23 октября 2020, НИУ «МЭИ», г. Москва.

*А. О. Лайкова, студ.; рук. С. В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Одной из основных причин выхода из строя трансформаторов является их перегрев. Для обеспечения надежности в [1] регламентированы температуры элементов трансформаторов и способы их охлаждения. Для мощных трансформаторов на электростанциях преимущественно используются масляно-водяные системы охлаждения (Ц) [2], контроль и управление которыми осуществляется специальными системами мониторинга.

Цель работы — обзор существующих систем охлаждения и контроля температурного режима трансформаторов, анализ и обобщение подходов с целью разработки подобной системы на базе отечественных технических и программных средств.

В ходе исследования планируется изучить статьи, учебные и методические пособия и стандарты, описывающие работу АСУ ТП, выделить базовые принципы, сделать выводы о тенденциях развития. На основании этих данных, выбрав наиболее доступные средства, предложить собственный способ реализации системы температурного контроля.

**Таблица 1.** Превышения температуры отдельных элементов масляного трансформатора над температурой охлаждающей среды [1]

Элемент трансформатора	Превышение температуры, °С
Обмотки (класс нагревостойкости изоляции А): — при принудительной циркуляции с направленным потоком масла через обмотку	70
Масло или другой жидкий диэлектрик в верхних слоях: — исполнение герметичное или с расширителем — исполнение негерметичное без расширителя	60 55
Поверхности магнитной системы и элементов металлоконструкций	75

### **Литература**

- ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4)
- Голунов А. М., Сещенко Н. С. Охлаждающие устройства масляных трансформаторов. М.: Энергия, 1976.

*М. К. Белов студ.; рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ PYTHON ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРЕНАЖЕРАХ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА СТАНЦИЙ**

Одной из проблем современного энергетического сектора являются ошибочные действия специалистов по управлению и вводу в эксплуатацию объектов генерации. Ссылаясь на слова президента Российской Федерации Путина В.В.: «Ежегодно на ликвидацию последствий различного рода аварий и катастроф расходуется в России от 1,5 до 3% ВВП, а мировой ежегодный ущерб составляет около 150 млрд долл. Доля техногенных катастроф в сумме чрезвычайных ситуаций в РФ уже превышает 70 процентов. Причем для предотвращения угроз аварий и катастроф необходимо рассматривать не только технологический и управленческий аспекты, но и человеческий фактор. Жизнь показывает, что большинство аварий происходит по вине человека» [1]. Слова главы государства подтверждаются статистикой Ростехнадзора [2].

Таким образом, необходимо развитие и закрепление навыков и способностей человека-оператора работать с высокой степенью готовности как в плановых режимах работы, так и в непредвиденных обстоятельствах. Решение данной задачи достигается целенаправленным обучением обслуживающего персонала станций на специализированных тренажерах, которые в свою очередь имеют возможность имитировать не только штатные режимы, но и условия предаварийных и аварийных ситуаций, максимально приближенных к реальным.

В данной работе реализована математическая модель единицы оборудования объекта энергетики — подогревателя низкого давления для дальнейшего применения в программной платформе на основе выбранного языка программирования Python. Разработка программной платформы позволит теплопредприятиям не только сэкономить денежные ресурсы на программное обеспечение, но и повысить уровень профессиональной подготовки обслуживающего персонала.

### **Литература**

1. Совместное заседание Совета безопасности и президиума Госсовета РФ 13 ноября 2003 г., «Известия», 14.11.2003 г.
2. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору // «Безопасность труда в промышленности», № 7, 2006 год.

*Ф. М. Титов, студент; рук. И. А. Щербатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ**

В работе сформулированы ключевые особенности реализации систем предиктивной диагностики, непосредственно встраиваемых в процесс и адаптирующихся под него. Работа данных систем основана на сопоставлении параметров объекта и его математической модели. Актуальность рассматриваемой задачи заключается в том, что для решения прикладных задач, связанных с разработкой и внедрением систем предиктивной диагностики, необходимо обеспечить исследователю эффективный инструментарий для построения полных и непротиворечивых моделей рассматриваемого процесса.

В рамках решения данной задачи, автором был проведен сравнительный анализ существующих методов математического моделирования на основе нечеткой логики и искусственных нейросетей (ИНС). Личный вклад автора заключается в разработке математических моделей в программном пакете MATLAB для каждого рассматриваемого метода. В результате проведенного исследования была сформулирована стратегия выбора оптимального подхода к построению математических моделей энергооборудования, на основе нечеткой логики и искусственных нейросетей.

### **Литература**

1. **Хальясмаа А. И.** Разработка системы оценки технического состояния электросетевого оборудования на основании нейро — нечеткого логического вывода. // Автореферат диссертации. Екатеринбург — 2015
2. **Васенин А. Б.** Анализ методов диагностики и прогнозирования состояния ответственных энергетических установок // Журнал Химическая техника № 8/2018

*Т. Чепига, студ.; рук. А. В. Волков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРЕХПЛУНЖЕРНОГО НАСОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА**

В предлагаемой работе рассматривается процесс создания алгоритма машинного обучения для предиктивного обслуживания трехплунжерного насоса на основе показаний счетчика давления. Использование машинного обучения находит широкое применение во многих областях производства, в частности в техническом обслуживании оборудования. Например, с помощью датчика давления, установленном на выходе их насоса, можно определить возможные неисправности или даже их комбинации. Для этого данные из датчика принимаются алгоритмом машинного обучения, который производит оценку текущего состояния оборудования. Таким образом, алгоритм может дать рекомендации персоналу, о том когда лучше всего произвести ремонт, уменьшив тем самым время простоя.

Проведение обслуживания на основе прогноза алгоритма, а не по заранее фиксированному интервалу, является более оптимальным решением, ведь таким образом учитываются фактические потребности оборудования. Часто создание неисправностей, необходимых для обучения алгоритму предиктивного обслуживания на реальной машине, является слишком дорогостоящим или даже невозможным.

Решение этой проблемы — использовать полевые данные полностью работающей машины для настройки физической 3D-модели и создания цифрового двойника. Процесс может быть автоматизирован, что позволяет быстро адаптировать его к различным условиям, обрабатываемым материалам и конфигурациям оборудования.

В данном докладе будет продемонстрирована 3D-модель трехплунжерного насоса с различными вариантами неисправностей, а также ход создания алгоритма машинного обучения с использованием MATLAB.

### **Литература**

1. [https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/predictive-maintenance-using-a-digital-twin.html?s\\_tid=srchtitle](https://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/predictive-maintenance-using-a-digital-twin.html?s_tid=srchtitle)
2. <https://www.mathworks.com/products/predictive-maintenance.html>

*Р. З. Шакурова, асп.; С. О. Гапоненко, асп.;  
рук. А. Е. Кондратьев, к.т.н., доцент (ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)*

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПУТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЕГО СТЕНКАХ**

Для обеспечения надежной работы энергосистемы важно своевременно проводить диагностику энергетического оборудования и систем транспортировки энергии с целью своевременного выявления дефектов и их последующего устранения. Применяемые в настоящее время методы и средства диагностики позволяют с достаточной точностью определить тип дефекта, его размеры и местоположение [1]. Однако на практике для определения технического состояния объекта используют несколько методов диагностики, каждый из которых позволяет выявлять дефекты определённого типа. В связи с этим необходимо совершенствовать существующие методы. Для этой цели была разработана методика оценки технического состояния трубопровода путем возбуждения низкочастотных колебаний в его стенках. Суть методики состоит в возбуждении диагностических низкочастотных вибрационных колебаний в стенке трубопровода с помощью инерциального резонатора с последующей регистрацией колебаний с помощью чувствительного элемента и анализом полученных спектров. Для осуществления этой методики был разработан информационно-диагностический комплекс (ИДК). В качестве объекта контроля выбран трубопровод. Принцип работы ИДК заключается в следующем. С помощью ПК и ЦАП приводится в действие инерциальный резонатор [2], закрепленный на трубе, который начинает возбуждать колебания в стенке трубопровода. Колебания стенок регистрируются микрофоном, полученный информативный сигнал от микрофона через АЦП поступает на ПК, где эти сигналы преобразуются в спектр для дальнейшего анализа.

Предлагаемая методика применима для диагностики трубопроводов в энергетике и других отраслях промышленности и позволяет обеспечить надёжное и эффективное функционирования энергетических систем.

### **Литература**

1. **Шакурова Р.З., Гапоненко С.О.** Устройство для диагностики энергетического оборудования // Материалы V Всероссийской студенческой конференции «Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России». — Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019.
2. **Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Шакурова Р.З.** // Способ инерциального возбуждения механических колебаний в упругой оболочке // Патент России № 2705515 от 07.11.2019.

*В. Е. Чанчина, асп., С. О. Гапоненко, асп.;*  
*рук. А. Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)*

## **МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВИБРАЦИОННО-АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ**

В работе был произведен модальный анализ собственных колебаний полиэтиленовых трубопроводов, как без учета давления грунта, так и с учетом вертикального и бокового давления различных грунтов. Расчеты проводились в программном комплексе ANSYS [1–4].

Для расчета было выбрано 5 полиэтиленовых труб с характеристиками: 125х31; 180х4,4; 250х6,2; 355х8,7 и 630х15,4. Параметры соответствуют требованиям ГОСТа 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена». В качестве исходных данных принимались параметры двух типов грунтов: пески гравелистые, крупные и средней крупности (Г-I) и глины тяжелые (Г-VI).

В результате аналитических исследований влияния грунтов различного вида на изменение собственной частоты трубопроводов, было определено, что грунт оказывает влияние на изменение частот собственных колебаний, при этом наименьшее значение частот достигается при укладке коммуникации в грунт типа Г-VI (глины тяжелые), что объясняется его вязкостью и пластичностью.

Таким образом, известная зависимость степени влияния различного грунта на собственные частоты трубопроводов значительно повышает достоверность вибрационной диагностики заглубленных коммуникаций, облегчает работы по ее организации и позволяет строить долгосрочные прогнозы эксплуатации.

### **Литература**

1. Руководство по программе Ansys / CFX, версия 13.0 — 2010.
2. **С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев.** Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом // Вестник Северо-Кавказского федерального университета, № 2 (47), 2015, стр. 9–13.
3. **В. А. Бруйка, В. Фокин, Е. А. Солдусова, Н. А. Глазунова, И. Адеянов** Инженерный анализ в ANSYS Workbench [Инженерный анализ в ANSYS Workbench]. Самара: СГТУ, 2010. 271. с.
4. **С. О. Гапоненко, А. А. Ибадов, А. Е. Кондратьев.** Определение информативных частотных диапазонов для контроля местоположения заглубленных трубопроводов // Научному прогрессу — творчество молодых. — Поволжский государственный технологический университет. — 2018. — № 2. — С. 68–71.



*А. С. Захаров, студ.; рук. Е. И. Мерзликина, доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА АСУТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ «PYTHON»**

В мире существует большое количество языков программирования, с помощью которых можно решать современные инженерные задачи. Одним из таких языков является Python [1], его преимущество заключается в простоте и легкости написания программного кода, в ясности и эргономичности представления сценариев, адаптируемости и обновляемости как встроено загруженных библиотек и функций, так и извне.

Благодаря Python появилась возможность создавать тренировочные программные обеспечения для АСУТП, с использованием современных инструментов программирования, необходимых для описания объектов управления [3], создания интуитивно-понятного интерфейса пользователя [2], для вычисления и построения графиков, трендов и много другого.

С помощью всего вышеперечисленного удалось создать тренировочную работу, в которой рассматривается тракт пароводяного прямооточного котла, а именно температуры: после НРЧ, первичного перегретого пара, пара после ЦВД турбины, вторичного перегретого пара, а также расход питательной воды и топлива. Пользователю предоставляется возможность вносить возмущения в виде изменения расходов, и наблюдать за изменением переходных процессов на графическом интерфейсе. Наличие сигнализации и информирование об авариях позволяет приблизить пользователя к реальным условиям эксплуатации объекта управления. А экспортирование графиков и результатов экспериментов в удобный excel-формат дают возможность делать вычисление всех необходимых параметров и постобработку результатов. Передаточные функции внутри программного кода созданы не как обычно с помощью рекуррентных выражений [3], а синтезированы с помощью интегрированной в Python библиотеки Control.Matlab, что соответствует среде Simulink в Matlab, и что позволяет использовать весь функционал этой библиотеки. Все это подкреплено описанием работы и необходимыми справками, и подсказками, что снижает порог входа для использования ПО.

### **Литература**

1. **Марк Лутц**, Изучаем Python. 5-е изд. Том 1, Том 2.
2. **Мартин Фицпатрик**, Создание приложений с графическим интерфейсом пользователя с помощью Python и Qt5.
3. **А. В. Андрюшин**, Управление и инноватика в теплоэнергетике: учебное пособие / А. В. Андрюшин, В. Р. Сабанин, Н. И. Смирнов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 392 с.: ил.

**Секция 48**  
**ТЕПЛОТЕХНИКА И МАЛАЯ**  
**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**  
**Heating engineering and small distributed**  
**power engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н. Мереуца Евгений Васильевич*

*Секретарь секции: Королева Анастасия Павловна*

*Т. А. Рябикова, маг.; рук. М. С. Иваницкий, доц., к.т.н. (ВФ МЭИ)*

## **ВЫБОР ВАРИАНТА СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВАРИЙНЫХ НУЖД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Самой важной из всех задач, решаемых при обеспечении надежной работы любой энергетической системы внутри каждого промышленного предприятия, является обеспечение бесперебойного и качественного электроснабжения производственного оборудования и систем освещения. В настоящее время в качестве источников резервного питания для обеспечения аварийных нужд промышленных предприятий могут быть использованы следующие виды систем:

- устройства автоматического включения резервного источника питания, в качестве пускового органа в этих устройствах, как правило, используется орган минимального напряжения;
- система быстрого действия автоматического ввода резерва, позволяющая осуществлять почти мгновенный переход на резервный источник питания, основными его элементами являются пусковое устройство и коммутационные аппараты, выполняющие переключения;
- энергосистемы с двумя независимыми линиями, где на всех ступенях системы электроснабжения предприятия при отключении основного питания может быть предусмотрено автоматическое переключение на соседние работающие независимые источники;
- энергосистемы и собственная электростанция, в том числе на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1].

В работе было выполнено исследование эффективности применения в качестве системы резервного питания для обеспечения безаварийной работы промышленного предприятия солнечной электростанции (СЭС) с учетом режимов потребления электрической мощности в климатических условиях Волгоградской области. Обоснован выбор основных узлов СЭС (фотоэлектрических панелей, инвертора, контроллера заряда, аккумуляторов, системы автоматического управления). Полученные результаты могут быть использованы при обосновании выбора источников резервного питания на основе ВИЭ для систем аварийных нужд промышленных предприятий.

### **Литература**

1. **Бекиров Э. А.** Электроснабжение промышленных предприятий, зданий сооружений с использованием энергоагрегатов возобновляемой энергетики. — Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. — 372 с.

*А. А. Романов, студ.; рук. Ю. В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИЗУЧЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ ТЕЧЕНИИ НАНОЖИДКОСТЕЙ: ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Привлекающие в XXI веке всё большее внимание [1] нанотехнологии имеют перспективные приложения в энергетике, одним из которых является использование нового вида теплоносителей — наножидкостей, представляющих собой гетерогенную смесь из «базовой» жидкости (какого-либо традиционного теплоносителя) и крошечных взвешенных частиц высокотеплопроводного вещества. Добавление наночастиц позволяет во многих случаях добиться повышения коэффициента конвективной теплоотдачи [2, 3].

До сих пор не существует прочной теоретической базы, объясняющей механизмы теплопередачи в наножидкостях [2, 3], а экспериментальные исследования в XXI веке только начинают проводиться. Имеющиеся данные достаточно отрывочны и несистематизированы, зачастую противоречивы. Актуален вопрос: при каких параметрах системы будет достигнута максимальная интенсификация конвективной теплоотдачи?

В данной работе проводится попытка систематизировать сведения о текущих исследованиях в области теплообмена при течении наножидкостей (преимущественно в каналах) на основании оригинальных исследований, проводимых зарубежными и отечественными учёными [2–4 и др.]. Даны сведения о наножидкостях и перспективах их применения в энергетике, о возможных механизмах теплопроводности в таких средах, о современном уровне экспериментальных исследований коэффициента конвективной теплоотдачи для различных систем: в зависимости от чисел Рейнольдса, материала наночастиц, а также их концентрации, размеров и формы.

### **Литература**

1. **А. Ю. Вараксин**, Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков: проблемы и достижения (Обзор) // ТВТ, 2013, том 51, выпуск 3, 421–455.
2. **В. И. Терехов, С. В. Калинина, В. В. Леманов**. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 1. Синтез и свойства наножидкостей // Теплофизика и аэромеханика, 2010, том 17, № 1.
3. **В. И. Терехов, С. В. Калинина, В. В. Леманов**. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Часть 2. Конвективный теплообмен // Теплофизика и аэромеханика, 2010, том 17, № 2.
4. **Rohit S. Khedkar, Shriram S. Sonawane, Kailas L. Wasewar**. Water to Nanofluids heat transfer in concentric tube heat exchanger: Experimental study. Procedia Engineering 51 (2013), p. 318–323.

Е. А. Гадалова, студ.;  
рук. В. В. Бухмиров, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СХЕМЫ ТОКА

Как известно [1], термодинамическая эффективность рекуператора, максимальна при противотоке и минимальна при прямотоке для всех теплоносителей, у которых отношение водяных эквивалентов больше нуля  $0 < \bar{W} = W_{\min}/W_{\max} \leq 1$ . В чистом виде противоточных и прямоточных схем движения теплоносителей в промышленных теплообменниках не существует в принципе, поэтому, *впервые* показаны результаты расчета эффективности рекуператора для любого сложного тока движения теплоносителей, характеризуемого функцией  $\Phi$ . Трефни  $f_\varphi = 0,5 \cdot [1 - \cos(\varphi)]$ , где угол  $\varphi$  — это угол между линиями тока теплоносителя, который для любой схемы сложного тока лежит в интервале  $0 \leq \varphi \leq \pi$ . Все расчеты выполнены для произвольных значений относительного водяного эквивалента  $\bar{W}$  и безразмерного коэффициента теплопередачи  $N = kF/W_{\min}$ .

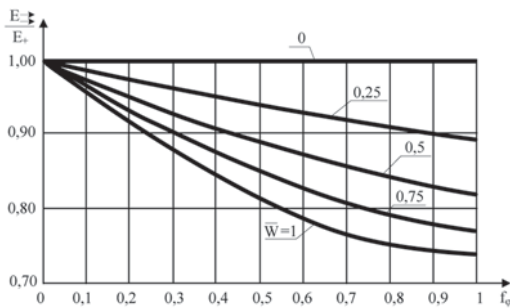


Рис. 1. Влияние схемы тока на эффективность рекуператора при  $N = 2$

Информация, представленная на рис. 1 позволяет количественно оценить влияние любой схемы тока на эффективность рекуператора. Например, перекрёстная схема движения теплоносителей ( $\varphi = \pi/2 \rightarrow f_\varphi = 0,5$ ) при  $N = 2\bar{W} = 1$  эффективнее прямотока на ~18%, но проигрывает в эффективности противоточной схеме ( $\varphi = \pi \rightarrow f_\varphi = 1,0$ ) на ~10%.

### Литература

1. Бухмиров В. В. Теплообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново, 2014. — 360 с.

Дееб Равад, аспирант;  
рук. Д. В. Сиденков, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ ПРОФИЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ОДИНОЧНЫХ ТРУБ КРУГЛОЙ И КАПЛЕВИДНОЙ ФОРМЫ

В связи с растущим спросом на энергосберегающие оборудование в последние годы, разработка эффективных теплообменников, обладающих высокой теплоотдачей и низкими потерями давления, является главным приоритетом для исследователей.

В данной работе проводится численное исследование аэродинамического сопротивления одиночных труб каплевидного и круглого профилей при поперечном обтекании воздухом в диапазоне изменения чисел Рейнольдса  $1,5 \times 10^3$  до  $26,5 \times 10^3$  с помощью программного пакета ANSYS Fluent (Рис. 1) [1, 2].

На рис. 2 видно, что аэродинамическое сопротивление одиночной каплевидной трубы уменьшается при увеличении  $L/D$  и/или с увеличением скорости набегающего потока  $u$ . Результаты показывают, что коэффициент трения для каплевидных труб с  $L/D=4$  в 14–18,3 раз меньше по сравнению с круглой трубой ( $L/D=1$ ). Предложена зависимость, позволяющая определить коэффициента трения  $f$  одиночных труб в зависимости от числа Рейнольдса и относительного удлинения профиля.

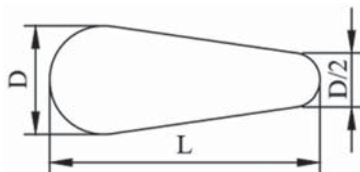


Рис. 1. Поперечное сечение каплевидной трубы

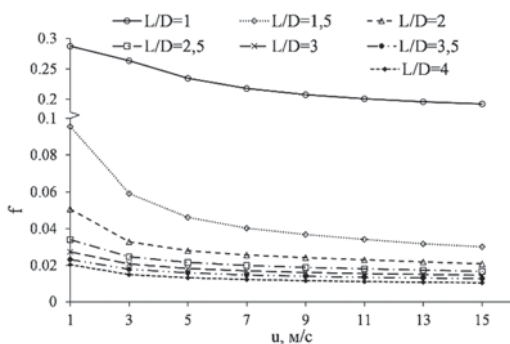


Рис. 2. Коэффициент трения  $f$  в зависимости от  $u$

### Литература

1. Deeb R., Sidenkov D. V. Investigation of Flow Characteristics for Drop-shaped Tubes Bundle Using Ansys Package // Inforino, Moscow, Russia, 2020. DOI: 10.1109/Inforino48376.2020.9111775.
2. Deeb R. Effect of Longitudinal Spacing on The Flow and Heat Transfer for Staggered Drop-shaped Tubes Bundle in Cross-flow // Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics. 2020. V.21, Iss. 1. DOI: 10.33257/PhChGD.21.1.878.

О. Д. Холодилина, студ.;  
рук. А. Б. Гаряев, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)

## КРИТЕРИЙ ВЫБОРА РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОВОГО КОТЛА

В частных домах одним из наиболее распространенных источников теплоты является газовый котел. В отапливаемый период перед жильцами возникает вопрос, как экономнее отапливать дом, поэтому целью работы является определение оптимального режима работы котла в зимний период.

Задачей является выбор режима работы системы отопления в отапливаемый период между дежурным и периодическим. Дежурное отопление, осуществляется постоянно при сниженной температуре. Периодический режим, когда котел включается только по приезду жильцов. Для облегченного выбора режим работы котла дома, была выведена универсальная формула расчета.

Составим отношение затрат дежурного режима к периодическому (1):

$$\frac{Q_{\text{деж}}}{Q_{\text{пер}}} = \frac{Q_0^p \cdot \frac{t_{\text{деж}}^{\text{от}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}} \cdot n_{\text{деж}}}{M \cdot C_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}) \cdot n_{\text{пер}}} \quad (1)$$

После некоторых преобразований формулы (1), было выведено универсальное отношение для определения режима (2):

$$\frac{Q_{\text{деж}}}{Q_{\text{пер}}} = \frac{a \cdot \sum \Delta t_{\text{деж}i} \cdot \sum n_{\text{деж}i}}{\delta^2 \cdot \sum \Delta t_{\text{п}i} \cdot \sum n_{\text{пер}i}} \cdot 24 \cdot 3600 \quad (2)$$

На примерах деревянного и кирпичного домах по формуле (2), с равным количеством прогревов, определен критерий выбора режима работы котла:

Для деревянного дома — дежурное отопление:

$$\frac{Q_{\text{деж}}}{Q_{\text{пер}}} = \frac{1.56 \cdot 10^{-7} \cdot (15 - (-4.7)) \cdot 197}{0.35^2 \cdot (20 - (-4.7)) \cdot 18} \cdot 24 \cdot 3600 = 0.96 < 1$$

Для кирпичного дома — периодическое:

$$\frac{Q_{\text{деж}}}{Q_{\text{пер}}} = \frac{3.7 \cdot 10^{-7} \cdot (15 - (-4.7)) \cdot 197}{0.12^2 \cdot (20 - (-4.7)) \cdot 18} \cdot 24 \cdot 3600 = 19 > 1$$

Таким образом, по уравнению (2) выбор оптимального режима работы котла зависит от: теплопроводности материала наружных стен; количества прогревов дома, количества дней работы отопления; толщины ограждающей конструкции; расчетной температуры наружного и внутреннего воздуха в день приезда жильцов [1].

### Литература

- СП 131.13330.2018. Строительная климатология — М: Минстрой России, 2015

*В. А. Смородинова, студент;  
О. В. Егошина, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

Современное состояние отечественной трубопроводной сети характеризуется на сегодняшний день достаточно высокой аварийностью, что ведет к крупным перебоям в теплоснабжении. На причины аварийных ситуаций влияют различные факторы, в частности необходимость снижения гидравлического сопротивления в процессе эксплуатации трубопроводных сетей систем теплоснабжения.

Для оценки возможности бесперебойного, надежного и безопасного теплоснабжения были рассмотрены мероприятия по совершенствованию эксплуатации. В результате работы были изучены современные решения проблемы снижения гидравлического сопротивления в процессе эксплуатации трубопроводных сетей систем теплоснабжения — снижение шероховатости внутренних поверхностей труб и сужение диаметра проходного сечения трубопроводов. Гидрофобизация внутритрубных поверхностей посредством их модификации с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ) является наиболее эффективным способом снижения гидравлического сопротивления применительно к трубопроводным сетям систем теплоснабжения [1].

Таким образом, было выявлено, что эффективное решение проблемы заключается в введении в транспортируемую жидкость разнообразных синтетических и полимерных добавок, и должно применяться в теплоэнергетике России.

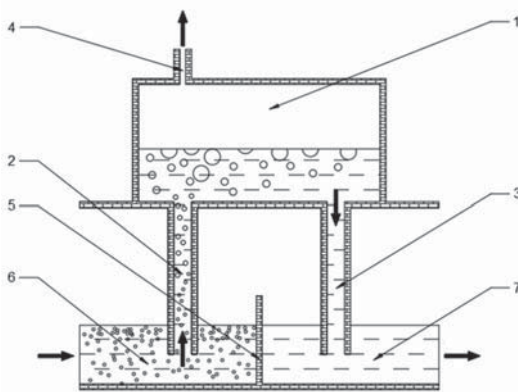
### **Литература**

1. **Абросимов Ю. Г., Пронин В. А. Хоанг Зань Бинь.** Снижение гидравлического сопротивления напорных трубопроводов при введении в поток воды добавок геля полиакриламида. Вестник МЭИ — 2010. — № 3.



А. А. Здравов, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БАЗАЛЬТОВЫХ КОМПОЗИТОВ



**Рис. 1.** Схема осветлительной установки;  
1 — осветлительная камера; 2 — труба для подачи расплава; 3 — труба для отвода осветленного расплава; 4 — газоотвод; 5 — разделительная перегородка; 6 — подвод расплава из печи; 7 — отвод расплава на розлив

тимизированная для использования в области базальтовых производств. Уменьшение размеров установки по сравнению с аналогами достигается за счет создания разрежения в осветлительной камере. В настоящий момент разработка находится на стадии патента на полезную модель.

Непрерывные базальтовые волокна (НБВ) — востребованный на рынке продукт. Основу его стоимости составляют затраты на производство НБВ из базальтового сырья [1]. Данную часть расходов можно значительно снизить, уменьшив габариты и повысив производительность установок, используемых в цикле производства.

На современных композитных производствах осветление расплава базальта происходит в ваннах большой площади [2]. На кафедре ЭВТ НИУ «МЭИ» разрабатывается малогабаритная осветлительная установка, оп-

### Литература

1. **Basalt Fibre Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2015–2025.** NY: FMI, 2015.
2. **Д. Д. Джигирис, М. Ф. Махова.** Основы производств базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002.

*И. А. Кокулин, студ.;*  
*рук. А. Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЭЦ-2 НА ТЭЦ-1 Г. ПЕНЗЫ**

Одной из главных проблем функционирования существующих ТЭЦ является уменьшение подключенных тепловых нагрузок в паре и горячей воде. Данное обстоятельство влечет снижение отпуска пара из теплофикационных и производственных отборов паровых турбин ТЭЦ, что негативно сказывается на технико-экономических показателях работы станций. Возможным решением данной проблемы является переключение тепловых нагрузок других источников централизованного теплоснабжения.

С целью повышения эффективности работы ТЭЦ-1 в г. Пенза, в данной работе авторами рассмотрен проект переключения тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1. Основным источником теплоснабжения в городе является ТЭЦ-1, чья установленная тепловая мощность составляет 805 Гкал/ч. При этом резерв тепловой мощности станции равен 338,5 Гкал/ч, а коэффициент использования установленной тепловой мощности находится на уровне 58%.

Средняя фактическая тепловая нагрузка ТЭЦ-2 в летний период составляет около 22,8 Гкал/ч, в отопительный период — 118,7 Гкал/ч. Данная нагрузка обеспечивается отпуском тепла от отбора турбин с противодавлением типа Р-8,4-35/10 и водогрейными котлами.

### **Сравнение рассчитанных показателей экономической эффективности проектов по сохранению фактической системы теплоснабжения и по переключению тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1**

Показатели	Прогнозируемая величина показателя в 2034 г.		
	Сохранение фактической системы теплоснабжения	Переключение тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1»	Изменение показателя
УРУТ э/э на отпуск с шин (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), г. у. т./кВт·ч	230,14	193,68	-36,45
УРУТ т/э на отпуск с коллекторов (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), кг. у. т./Гкал	169,05	167,10	-1,95
Себестоимость тепловой энергии (отпуск с коллекторов) (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), тыс. руб.	2921 578,27	2715 963,40	-205 614,87

Основными результатами реализации предложенного проекта будут являться повышение эффективности работы существующего оборудования ТЭЦ-1 и снижение себестоимости производства тепловой энергии за счет вывода из эксплуатации ТЭЦ-2.

*В. В. Понуровская, асп.; А. М. Черминский, А. Д. Клементьев, студенты; рук. Е. В. Ежов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФРАКТАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНОГО СОРБЕНТА**

В настоящее время фрактальный подход для описания морфологии тел используется исследователями при рассмотрении многих процессов, включая адсорбцию [1]. В рамках работы была создана морфологическая модель поверхности сорбента, которая включает в себя три типа пор: макропоры (~200 нм), мезопоры (~30 нм) и микропоры (~0,7 нм). При создании морфологической модели использовалась теория фракталов. В качестве шаблона пористой поверхности сорбента выбрана модифицированная модель обобщенной губки Менгера [2]. Фрактализация поверхности проводилась до уровня размера молекулы сорбата. Площади поверхности и объемы пор определялись численно. Процессы сорбции, протекающие в макропорах, рассчитывались по теории Ленгмюра, в мезопорах — по теории БЭТ (Брунауэра-Эммета-Теллера), в микропорах — по теории объемного заполнения микропор. Создана методика расчета интегральных сорбционных свойств углеродного сорбента СКТ, реализованная в виде программного модуля SORB-Mathcad.

Создаваемая морфологическая модель пористого тела (активированного угля) позволяет надеяться, что без проведения экспериментальных исследований, будет возможно, определять число центров адсорбции в рассматриваемом пористом теле, включая его внешнюю поверхность.

Работа поддержана грантом РФФИ № 19-08-00308

### **Литература**

1. **Медведева А. В.** Аэродинамическое измерение пористости веществ / А. В. Медведева, Д. М. Мордасов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. — 2012. — Вып. № 4 (42). — С. 329–334.
2. **Ежов Е. В.** Расчетная модель поверхностного натяжения веществ фторуглеродного состава // Вестник МЭИ. — 2014. — № 4. С. 11–15.

*Д. А. Юкович, студ.; рук. К. В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПО УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ**

Актуальной проблемой нефтедобывающей отрасли является утилизация замазученных почвенных грунтов, которые образуются в результате практически любой операции по обращению с нефтепродуктами и нефтью. Такие грунты представляют собой устойчивую многокомпонентную физико-химическую смесь нефтепродуктов, воды и механических примесей (глины, песка и др.).

Сложности утилизации замазученных грунтов и нефтешламов определяются, в большей степени, неоднородностью и многокомпонентностью смесей. Для решения этой задачи разработали и используют различные установки [1] для переработки и утилизации замазученных грунтов, масел и шламов прокатного производства, замасленных стружек и окалин, т. п.

В подобных установках не используется теплота отходящих газов, что ведёт к чрезмерному потреблению топлива.

Основные предложения по мероприятиям, направленным на усовершенствование оборудования, в соответствии с [2] следующие: установить рекуператор для подогрева воздуха горения; перейти на другие горелки, которые работают на подогревом воздухе; предусмотреть подачу горячего воздуха от рекуператора до горелок.

Целью работы является снижение потребления топлива. Предложенные мероприятия позволят: снизить расход топлива на 15÷20%, а значит и затраты на доставку дизельного или газового топлива; повысить калориметрическую температуру горения; повысить производительность установки; снизить расход воздуха на 15÷20%; снизить объём дымовых газов; снизить температуру дымовых газов; снизить объёмы выбросов загрязняющих; уменьшить габариты технологического оборудования после рекуператора; повысить надёжность работы дымососов; снизить потребление электроэнергии на работу дымососа и блока очистки.

В результате работы получили, что подогрев воздуха позволяет снизить потребление природного газа на 20% и ожидаемый срок окупаемости от внедрения мероприятий оценивается в 1,5 года.

### **Литература**

1. [Электронный ресурс] URL: [https://sep32.ru/products/ustanovki\\_po\\_utilizatsii\\_nefteshlamov/ustanovki\\_dlya\\_pererabotki\\_i\\_utilizatsii\\_zamazuchennykh\\_gruntov/](https://sep32.ru/products/ustanovki_po_utilizatsii_nefteshlamov/ustanovki_dlya_pererabotki_i_utilizatsii_zamazuchennykh_gruntov/)
2. **Тебеньков Б. П.** «Рекуператоры для промышленных печей», 1975, 296 с.

*А. В. Коровяковский, асп.; рук. С. К. Попов, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЯ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛЬНОГО СТРУЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

В связи с разнообразием геометрии ограждения стекловаренных печей, а также применением в них различных огнеупоров целесообразно исследование нескольких моделей печей с целью оценки эффективности применения локального воздушного охлаждения. Для сравнительного анализа взяты данные из [1] (модель А) и из [2] (модель Б). Построение математических моделей выполнено в программном комплексе Phoenix. Рассматривается стационарный процесс. Теплофизические характеристики идентичны во всех точках неподвижных объемов газа и расплава.

Установлено, что наибольшее влияние обдува наблюдается у модели А. Одними из наиболее существенных геометрических характеристик являются толщина огнеупора в зоне обдува, а также наличие ступенчатого перехода ограждения между зонами отходящих газов и расплава. Из-за уменьшения толщины ограждения появляется риск разрушения боковой стенки стекловаренной печи. Однородная (без ступенчатого смещения) геометрия боковой поверхности ограждения модели Б исключает указанный риск, но не обеспечивает такой же эффект локального обдува, как модель А. Чтобы добиться сопоставимых результатов по снижению внутренней температуры огнеупора, при обдуве плоской поверхности требуется интенсифицировать теплообмен путём увеличения скорости воздушного потока на выходе из сопла или путём увеличения площади обдуваемой поверхности при неизменном расстоянии между устройством обдува и поверхностью ограждения.

Одним из оптимальных решений является применение геометрии боковой стенки стекловаренной печи со ступенчатым смещением, но слоев огнеупора должно быть несколько для исключения риска разрушения бокового ограждения агрегата.

### **Литература**

1. Dzyuzer V. Ya. Boundary conditions for heat transfer through glass furnace brickwork / V. Ya Dzyuzer, V. S. Shvydkii, E. B. Sadykov // *Glass and Ceramics*. — September 2012. — 69 (5–6), 163–167.
2. Коровяковский А. В., Попов С. К. Исследование теплообмена на поверхности стекловаренной печи и повышение ее энергоэкономичности на основе регулируемого охлаждения стен варочного бассейна // *Энергосбережение — теория и практика: Труды Десятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов*. — Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2020. с. 59–65.

А. А. Авдеева, студент; рук. Е. В. Джураева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПГУ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПЕРЕГРЕВОМ ПАРА

В настоящее время в энергетике многих стран широко внедряются комбинированные парогазовые энергетические установки (ПГУ), работающие по схеме бинарного цикла. Сочетание двух энергоблоков: газотурбинного, имеющего высокую температуру продуктов сгорания и паротурбинного, позволяющего максимально использовать теплоту уходящих газов — с точки зрения термодинамики дает возможность существенного повышения средней температуры подвода теплоты, а, следовательно, снижения расхода топлива на удельную выработку энергии.

Использование водяного пара в паротурбинных энергетических установках в качестве рабочего тела обладает рядом преимуществ. Доступность, не токсичность, пожаробезопасность. Также вода обладает большой скрытой теплотой парообразования, что позволяет «аккумулировать» в паре большое количество энергии; сам пар можно получить как сопутствующий продукт производства электроэнергии на теплоэлектроцентралях.

Цель работы — исследовать цикл ПГУ с промежуточным перегревом пара и определить оптимальные параметры в основных точках цикла.

Результатом настоящей работы является определить экономичность цикла и основные параметры цикла. И применение водяного пара в утилизационных контурах по одному из вариантов схемного решения (рис. 1)

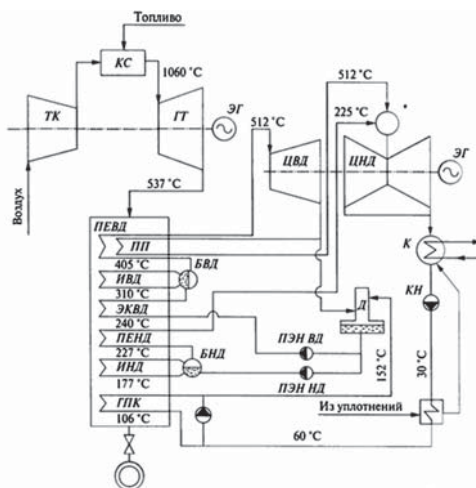


Рис. 1. Схема ПГУ

*А. С. Дмитроченко, студ.; Ю. А. Геллер, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ**

При расчете тепловых потерь здания через ограждающие конструкции используют коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхности, данные постоянными величинами в Своде Правил Тепловая защита зданий [1]. В СП значения  $\alpha_v$  и  $\alpha_n$  предписаны для всех городов России вне зависимости от климатического пояса и застройки, этажности здания и времени года. Различия в  $\alpha_n$ , представленные в СП, связаны с расположением наружных конструкций и их взаимодействием с наружным воздухом.

К примеру,  $\alpha_n$  у наружных стен и покрытий  $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , у перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом  $17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  и т. д.

Методика определения этих значений не указана в действующих нормативных документах. Соответственно, мы можем сделать вывод, что представлены эмпирические значения.

В данной работе предлагается найти коэффициент теплоотдачи наружной поверхности с использованием формул для практических расчетов местного и среднего коэффициентов теплоотдачи с использованием источников [2], [3]. Для примера были рассмотрены города с разными температурными и ветровыми режимами.

Так как, основным фактором, влияющим на коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, является скорость движения воздуха, то выбор городов для расчета был сделан на следующих принципах:

- максимальное, минимальное и среднее между ними значение скорости ветра в холодный и теплый период года
- максимальное, минимальное и среднее между ними количество штилевых дней в холодный и теплый период года [4].

### **Литература**

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
2. **Цветков Ф. Ф.** Тепломассообмен. М.: Издательский дом МЭИ, 2005.
3. **Цветков Ф. Ф.** Задачник по тепломассообмену. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
4. СНиП 201 01 82 Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1983.

*Р. И. Басидов, студ.; рук. К. И. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>**

В данной работе представлен расчет термодинамических свойств октафторциклобутана, а именно энтальпии и энтропии, на основе полученных ранее экспериментальных данных о плотности вещества среди параметров 0,5–10 МПа и 5–450°С, который включает в себя ранее неисследованный высокотемпературный диапазон [1]. Данное вещество в перспективе может найти свое применение в качестве альтернативного рабочего тела в современных энергетических установках.

Главной задачей является определение зависимостей, указанных функций, состояния вещества от температуры и плотности с целью разработки баз данных необходимых для расчета циклов современных энергетических установок.

Расчет осуществляется по известным соотношениям дифференциальных уравнений термодинамики [2]. Уравнения для получения зависимостей энтальпии и энтропии с использованием массива данных, полученные экспериментально-аналитическим путем, имеют вид.

$$\frac{h(\omega, \tau)}{RT} = \frac{h_0(T)}{RT} + A_3 \quad (1)$$

$$\frac{s(\omega, \tau)}{R} = \frac{s_0(T)}{R} + \ln\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) + A_4 \quad (2)$$

Расчет комплексов  $A_3$ ,  $A_4$  проводился в математическом пакете: «Wolfram Mathematica 8» согласно методике [3].

Результатом расчета являются табличные данные энтальпии и энтропии октафторциклобутана в представленном диапазоне параметров состояния.

### **Литература**

1. **Гранченко П. П., Кузнецов К. И., Сухих А. А., Скородумов С. В.** Экспериментальные измерения плотности октафторциклобутана в области параметров работы теплосиловых установок // Надежность и Безопасность Энергетики, 2016. № 3 (34), с. 35–38.
2. **Кузнецов К. И., Сухих А. А., Утенков В. Ф., Скородумов С. В., Гранченко П. П.** Построение уравнения состояния октафторциклобутана в области перегретого пара и сверхкритических параметров. установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. № 1–2, с. 50–56.
3. **Сычев В. В. и др.** Термодинамические свойства азота М., Издательство стандартов, 1977.



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

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ: ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ

Распределенная энергетика — приоритетное направление перехода от традиционной энергетики XX века к технологиям XXI века. Такой переход происходит на основе цифровизации, децентрализации систем энергоснабжения и имеет своей отличительной чертой снижение выбросов парниковых газов и общее повышение энергоэффективности.

Рынок технологий малой распределенной генерации увеличивается примерно на 10% в год. Прогнозируется, что к 2025 году в три раза будет превышен объем ввода мощностей распределенной генерации над объемом ввода централизованной генерации. Международное Энергетическое Агентство считает, что до 2030 года распределенная энергетика обеспечит до 75% от всех новых подключений.

Энергосистема Российской Федерации на данный момент отстает в широкомасштабном развитии распределенной энергетике от общемирового уровня. Исключая удаленные и изолированные территории нашей страны, фактически в остальных регионах игнорируется включение распределенной энергетике в планирование развития энергосистемы.

Только в 2000-х годах стало ощутимым проникновение распределенной энергетике

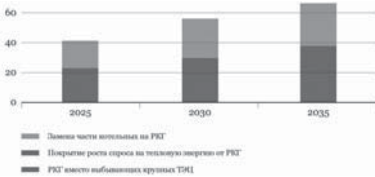


Рис. 1. Потенциал распределенной когенерации в России, ГВт

в российскую энергосистему. Однако за 19 прошедших лет, по существу, это ограничилось лишь распределенной генерацией.

В рамках настоящего исследования сделана попытка оценить потенциал развития распределенной энергетике для обоснования комплексных дорогостоящих инвестиционных проектов с периодом внедрения — ближайшая пятилетка.

### Литература

1. Новоселова О. А. Инновационный аспект распределенной генерации / Региональная энергетика и энергосбережение, 2016. — № 3.
2. Веселов Ф. В., Федосова А. В. Экономическая оценка эффектов развития интеллектуальной энергетике в единой электроэнергетической системе России // Известия Академия наук. Энергетика. № 2, 2014. С. 50–60

*М. М. Трохина, студ.;*  
*научный руководитель Ю. А. Геллер, к.т.н., доцент*  
*(НИУ «МЭИ») г. Москва*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В ГОРОДЕ МОСКВЕ. ВЫБОР ВЫГОДНОГО ВАРИАНТА ТРУБОПРОВОДА С ИЗОЛЯЦИЕЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ**

Важной составной частью систем централизованного теплоснабжения являются тепловые сети, предназначенные для транспортирования и распределения теплоносителя. Связывая источник тепла с большим числом потребителей, тепловые сети должны обеспечить согласованную работу всех звеньев систем теплоснабжения. Соблюдение этого требования достигается не только рациональным проектированием и строительством тепловых сетей, но и также и правильной эксплуатацией, поддержания соответствующих режимов, организацией контроля и профилактических мероприятий. Тепловые сети являются весьма дорогостоящими сооружениями, на их строительство и эксплуатацию затрачиваются значительные средства. [1]

Выход из сложившегося положения возможен путем массового внедрения при строительстве тепловых сетей гибких высокотемпературных теплоизолированных труб вместо систем предварительно изолированных трубопроводов.

В настоящей работе сравниваются основные показатели нескольких вариантов конструкций [2] бесканальной тепловой сети (таблица 1):

1. Стальные трубопроводы в изоляции ППУ (пенполиуретан),
2. Стальные трубопроводы в изоляции из минеральной ваты,
3. Гофрированные теплоизолированные трубы, выполненные из нержавеющей стали.

Сравнение проводилось по расчету потери теплоты, по долговечности трубопровода и изоляции, по стоимости монтажных работ.

В результате проделанной работы сформированы выводы о том, что применение современных предизолированных труб на примере «Касафлекс» позволяет повысить энергетическую эффективность теплоснабжения, снизить удельные эксплуатационные затраты на отпуск тепловой энергии.

### **Литература**

1. **Проектирование теплосети микрорайона.** Электронный ресурс. URL: <https://vuzlit.ru/1282139/vvedenie>, дата обращения: 13.11.2020
2. **СП 61.13330.2012** Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (с Изменением N 1)

**Направление X**  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ**  
**МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
**Power engineering machinery**

---

**Руководитель направления:**

д.т.н., доцент Меркурьев Игорь Владимирович —  
и.о. директора института энергомашиностроения  
и механики НИУ «МЭИ»

**Секция 49**  
**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*

*А. В. Москвителева, студ.; рук. К. В. Стерхов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ГЕЛИОТЕРМАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Возобновляемые источники энергии нашли широкое применение при производстве энергии во всём мире. Доля производимой при помощи ВИЭ электрической энергии растёт. Одним из основных возобновляемых энергетических ресурсов является энергия солнечного света, которая основана на преобразовании электромагнитного излучения солнца в тепловую или электрическую энергию. В данной работе рассмотрена гелиотермальная технология преобразования солнечной энергии в электроэнергию.

В настоящей работе рассматривается установка с вогнутыми параболическими коллекторами. Такое устройство состоит из длинных изогнутых зеркал, которые концентрируют солнечный свет на теплоноситель (чаще всего термомасло) внутри трубы, проходящей параллельно зеркалу. Теплоноситель направляется в парогенератор, где производится рабочее тело — водяной пар, используемый для вращения турбины.

По данным энергетической освещённости в качестве места расположения предлагаемой установки выбран город Владивосток. [1] Рассчитан диапазон тепловой мощности, позволяющий определить площадь расположения зеркал и выбрать паровую турбину из ряда существующих в РФ турбин. Для выбранного региона была выбрана паровая турбина К-100-90. На основании требований к свойствам теплоносителя (теплоемкость, вязкость, химическая активность, теплопроводность и т.д.) было выбрано термомасло, после чего определен объем бака запаса теплоносителя, который позволит поддерживать работу паровой турбины в ночные периоды.

На заключительном этапе проводится тепловой конструкторский расчет парогенератора, в ходе которого определены конструкция и площадь поверхностей нагрева.

### **Литература**

1. **Научно-прикладной справочник** по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 26. Приморский край. СПб.: Гидрометеиздат, 2001

*В. С. Лихолетова, студ.; рук. П. В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАЛОЭМИССИОННОЙ ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ СТАДИЙНОГО СЖИГАНИЯ**

Одними из основных целей современной российской природоохранной политики являются повышение энергетической и экологической эффективности промышленности, в том числе теплоэнергетики, и в особенности угольных ТЭС. Базой для достижения этих целей является переход на принципы НДТ (наилучших доступных технологий) и внедрение инновационных технологий.

Перечень НДТ, рекомендуемых для внедрения на ТЭС и направленных на снижение негативного техногенного воздействия на окружающую среду, установлен в информационно-техническом справочнике по НДТ [1]. Одной из наиболее эффективных НДТ являются современные малоэмиссионные горелки, позволяющие снизить выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$  в атмосферу с дымовыми газами ТЭС на 30–50% за счет реализации ступенчатого и стадийного сжигания топлива в топках котлов.

Технология стадийного сжигания заключается в разделении потока воздуха, подаваемого для сжигания топлива, на несколько частей с целью создания в факеле условий для подавления образования и восстановления оксидов азота. В исследованиях НИУ «МЭИ» были сформулированы принципы стадийного сжигания разных видов топлива, направленные на минимизацию выхода  $\text{NO}_x$  [2].

Целью настоящей работы являлась разработка малоэмиссионной горелки для сжигания Кузнецкого угля марки 1СС в котле Е-210-140-560 КТ, реализующей данные принципы стадийного сжигания. Для этого в работе было выполнено эскизное проектирование и конструкторский расчет малоэмиссионной горелки, компьютерное моделирование горелки и численные эксперименты процесса горения в программном продукте ANSYS. Выполненные расчетные исследования процесса сжигания угля в четыре стадии показали возможность снижения эмиссии оксидов азота ниже установленных технологических показателей.

### **Литература**

1. **ИТС 38-2017** «Сжигание топлива на крупных установках с целью производства энергии»
2. **Росляков П. В.** Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

И. Е. Богомолов, студ.;  
рук. Т. В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

С развитием турбостроения высоты рабочих лопаток последней ступени неуклонно растут и обычно определяют достижения завода-изготовителя, т. к. с увеличением ометаемой площади последней ступени можно значительно уменьшить число выхлопов ЦНД и этим самым увеличить единичную мощность ПТУ и снизить металлоемкость изделия. При одинаковом числе выхлопов можно снизить потери с выходной скоростью. При выборе размеров последней ступени ограничивающим фактором является прочность рабочих лопаток, у которых растягивающие напряжения растут пропорционально квадрату высоты.

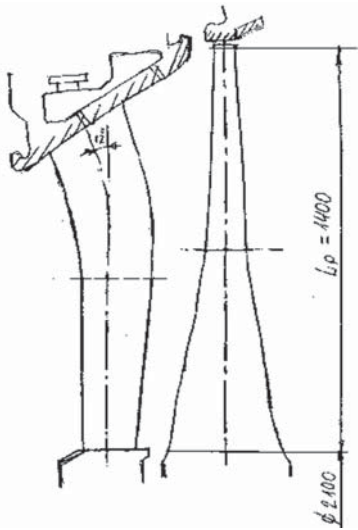


Рис. 1. Эскиз ступени с рабочей лопаткой 1400 мм

перепада, а с ним и чисел  $M_{1t}$  в корневых сечениях сопловой решетки и  $M_{2t}$  в периферийных сечениях рабочей лопатки. Растут также концевые потери на периферии из-за раскрытия проточной части, связанного с ростом отношения удельных объемов  $v_{2t}/v_{1t}$ .

Именно поэтому так медленно идет рост этого параметра, а с ним и увеличение предельной мощности быстроходных турбин АЭС. В настоящее время для быстроходных турбин предельно достижимой является высота рабочей лопатки 1500 мм, поэтому турбины насыщенного пара мощностью выше 1200 МВт следует выполнять тихоходными.

В данной работе проведено исследование по изменению внутреннего относительного КПД последней ступени быстроходной турбины в зависимости от длины рабочей лопатки. Расчеты проводились по программе STUP\_dl [1].

Согласно результатам исследования, наиболее экономичной оказалась ступень с длиной лопатки 1400 мм (рис. 1). В то время как с ростом высоты рабочей лопатки снижаются потери энергии с выходной скоростью, одновременно растут волновые потери в сопловой и рабочей решетках из-за увеличения располагаемого тепло-

### Литература

1. **Богомолова Т. В.** Последние ступени паровых турбин: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

*В. А. Шелопаев, студ.; рук. М. Н. Зайченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ОКИСЛИТЕЛЯ НА АДИАБАТНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ГОРЕНИЯ И СОСТАВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛНОГО ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА**

Традиционно в энергетических установках рассматриваются случаи сжигания топлива с количеством окислителя стехиометрическим или с избытком последнего, а в качестве окислителя рассматривается исключительно воздух. Нормативный метод теплового расчета котлов [1, 2] позволяют рассчитать состав и расход продуктов сгорания при полном окислении топлива.

В тоже время многие перспективные направления развития котельной техники, например, кислородное сжигание топлива [3], котлы с циркулирующим кипящим слоем [4], связаны со случаями, когда окислитель представляет собой смесь кислорода с другими газами или окислителя недостаточно для полного сжигания топлива.

Поэтому целью данной работы является исследование влияния состава и количества окислителя на адиабатную температуру горения и состав продуктов сгорания. Для этого необходимо установить взаимосвязь между компонентами продуктов сгорания и параметрами системы, используя систему уравнений. Последняя состоит из 4 групп уравнений: уравнение сохранения энергии (энергетический баланс), уравнения сохранения вещества (материальный баланс), закон Дальтона, уравнения, описывающие взаимосвязь между продуктами сгорания.

Результаты работы показали, что для каменных и бурых углей независимо от состава окислителя изменение массовых концентраций СО и Н<sub>2</sub> имеет экстремальную зависимость, максимум которой приходится на коэффициент избытка воздуха  $\alpha \approx 0,3 \div 0,4$ . При это массовые концентрации СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О непрерывно снижаются. Это объясняется тем, что при очень малых  $\alpha$  определяющими становятся реакции газификации, что подтверждается увеличением концентрации метана.

### **Литература**

1. **Тепловой расчет котельных агрегатов** (нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1973.
2. **Тепловой расчет котлов** (нормативный метод) СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998.
3. **Супранов В. М., Баторшин В. А., Штегман А. В., Мельников Д. А.** Исследование возможности и целесообразности работы котла Пп-1900-25-570 КТ в режиме кислородного сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2012. № 8
4. **Супранов В. М., Рябов Г. А., Мельников Д. А.** Исследование возможности и целесообразности работы котла Пп-1000-25-585 с циркулирующим кипящим слоем в режиме кислородного сжигания топлива // Теплоэнергетика. 2011. № 7



Д. А. Буганов, студент; рук. В. М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СЖИГАНИЯ АНТРАЦИТА ДЛЯ КОТЛА Е-220-9,8-540АЖ

Сжигание низкорекреационного топлива и, в частности, антрацитового штыба (АШ), по-прежнему актуально для нашей страны, т.к. на юге России и за Уралом имеются значительные запасы углей с выходом летучих веществ  $V^{daf}$  от 3,5 до 18%.

АШ обладает крайне низким  $V^{daf}=3,5\%$ , но имеет не слишком тугоплавкую золу ( $t_{нж}=1450^{\circ}\text{C}$ ). Поэтому при реализации факельного сжигания целесообразно использовать топку с жидким шлакоудалением (ЖШУ). Такое решение, в совокупности с подогревом воздуха в двухступенчатом трубчатом воздухоподогревателе до  $400^{\circ}\text{C}$ , позволяет добиться достаточно экономичного сжигания с механическим недожогом не более 3–4%.

АШ является трудноразмельчаемым топливом и из-за низкого  $V^{daf}$  требует очень тонкого помола ( $R_{90}=7\%$ ). Поэтому целесообразно применять шаровые барабанные мельницы (ШБМ). При работе топки с ЖШУ горелки не должны отключаться по топливу, иначе невозможен равномерный обогрев стен. Поэтому необходимо использовать пылесистемы с промбункером. Поскольку АШ взрывобезопасен, а влажность его 8,5%, можно использовать воздушную сушку топлива. Но из-за низкой реакционной способности пыль необходимо транспортировать в горелки горячим воздухом, а отработанный сушильный агент подавать в топку через сбросные горелки.

Для достижения требуемых экологических показателей сжигания АШ необходимо было добиться существенного снижения выбросов золы, оксидов серы и оксидов азота в атмосферу. Для решения первой задачи можно использовать экономичные рукавные фильтры. Для снижения выбросов оксидов серы нужно использовать NID-метод. Снижение выбросов оксидов азота может быть достигнуто за счет двухступенчатого сжигания топлива, но его нужно организовать так, чтобы обеспечивался и надежный выход жидкого шлака.

В рамках выполненной работы автором проведены расчеты мельниц и систем пылеприготовления, расчет воздушного баланса топки, расчет горелок. Сделана оценка надежности выхода жидкого шлака на пониженных нагрузках, а также расчеты вредных выбросов до и после внедрения природоохранных мероприятий.

Расчетами показано, что по всем параметрам разработанная технологическая схема сжигания соответствует существующим требованиям.

*М. А. Шистеров, студ.;*  
*рук. М. Н. Зайченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА С НЕДОСТАТКОМ ОКИСЛИТЕЛЯ**

В нормативных методиках тепловых расчетов энергетических установок, работающих на органическом топливе, делается упор на полное сгорание последнего с избытком воздуха. Такие расчеты хорошо освоены и широко представлены в различных источниках. С другой стороны, в последнее время становится все более востребованы технологии, при которых процесс горения топлива вначале протекает при недостатке окислителя, а сам окислитель имеет сложный состав. При этом итоговый состав продуктов сгорания и температура являются взаимозависимыми и не известны. Поэтому появляется необходимость в верифицированной расчетной методике, позволяющей учесть взаимосвязь этих параметров.

В связи с этим целью данной работы является уточнение методики расчета горения топлива при недостатке окислителя с целью определения конечного состава продуктов неполного сгорания и их температуры.

Основой подхода является решение системы уравнений, увязывающей энергетический и материальный балансы и химические реакции горения. Все эти уравнения хорошо известны и описаны в литературе [1, 2]. При этом возникает вопрос о выборе химических реакций, устанавливающих взаимосвязь между компонентами продуктов сгорания при недостатке окислителя, и значений констант этих реакций, так как в источниках приводятся различные данные по ним [3, 4].

Одной из основных задач, решаемых в данной работе, является обоснованный выбор химических реакций, устанавливающих взаимосвязь между химическими соединениями при сжигании топлива с недостатком окислителя для полного горения, и верификация значений констант этих реакций. Полученные результаты позволят составить систему уравнений и уточнить методики теплового расчета при сжигании топлива с недостатком окислителя, которая станет основой для проведения дальнейших исследований сжигания топлива в среде окислителя сложного состава.

### **Литература**

1. **Toftegaard M. B., Brix J., Jensen P. A., Glarborg P., Jensen A. D.** Oxy-fuel combustion of solid fuels // *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 36, Is. 5, Oct. 2010.
2. **Toporov D., Bocian P., Heil P., Kellermann A., Stadler H., Tschunko S., Förster M., Kneer R.** Detailed investigation of a pulverized fuel swirl flame in CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> atmosphere // *Combustion and Flame*. Volume 155, Issue 4, December 2008, Pages 605–618
3. **Новый справочник химика и технолога. Химическое равновесие. Свойства растворов** / А. В. Зинченко, и др. — СПб.: Профессионал, 2004. — 998 с.
4. **Арутюнов В. С., Крылов О. В.** Окислительные превращения метана / М.: Наука, 1998. — 361 с.

К. В. Володина, студ.; А. Г. Ахмадзаде, асп.;  
рук. Т. В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МНОГОРЕЖИМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С РАБОЧЕЙ ЛОПАТКОЙ ДЛИНОЙ 1760 ММ

Традиционно энергоблоки АЭС покрывают базовую часть графика электрической нагрузки. При увеличении доли АЭС в производстве электроэнергии это приводит к росту неравномерности графика нагрузки энергосистемы и увеличению дефицита маневренных мощностей.

В этой ситуации весьма вероятно, что АЭС придется участвовать в суточном графике электрической нагрузки, какими бы способами — прямыми диспетчерскими ограничениями или экономическими методами — это не достигалось. Вследствие этого, создавая проточную часть турбины, необходимо учитывать изменение экономичности турбины и ее отдельных ступеней на переменных режимах.

Возможность АЭС принимать участие в регулировании нагрузки энергосистемы — один из главных факторов развития отечественной атомной энергетики, а также обеспечения конкурентоспособности российского турбостроения на мировом рынке.

В данной работе проведена многорежимная оптимизация последней ступени тихоходной турбины К-1200-6,8/25 с рабочей лопаткой последней ступени длиной 1760 мм при работе по заданному графику нагрузки энергоблока, типичному для региона с высокой концентрацией АЭС (рис. 1).

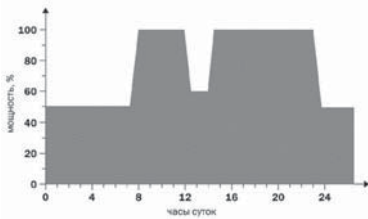


Рис. 1. Суточный график нагрузки энергоблока

Наилучшим вариантом последней ступени с точки зрения экономичности в широком диапазоне режимов, является вариант с повышенным по сравнению с оптимальным теплоперепадом  $H_0=194$  кДж/кг. Он обеспечивает выигрыш в КПД в 1,5% при заданном типовом графике суточной нагрузки.

*А. А. Мостовой, студ.; рук. Д. А. Хохлов, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОННОСПОРТИВНЫХ КЛУБОВ**

Сегодня в России много конноспортивных клубов (КСК) и их количество увеличивается. Каждый КСК это, в среднем, от 40 до 200 голов лошадей. Если для лошадей обеспечиваются максимально комфортные условия, то ежедневно образуется от 5 до 20 кубометров отходов содержания, представляющих собой смесь навоза и опилок, смоченных водой и мочой. Эти отходы должны быть оформлены и подлежат регламентированной утилизации, что является затратной статьей бюджета клуба. Но, с другой стороны, это сырье, которое может быть переработано в топливо — пеллеты. Пеллеты могут либо реализовываться как востребованный на рынке товар, либо использоваться как топливо в теплотехнических системах самого КСК.

Создание в КСК теплоэнергетического комплекса позволит избавиться от затрат на утилизацию отходов содержания и снизить затраты на обеспечение теплом и горячей водой, существенно повысив комфортность помещений, особенно крытых манежей.

В докладе проведен технико-экономический анализ возможности и условий создания в КСК теплоэнергетического комплекса переработки отходов содержания, для среднего количества голов лошадей, при котором достигается экономическая целесообразность такого проекта. Основные элементы комплекса: котел для нагрева воздуха (топливо — отходы содержания) сушильный барабан, гранулятор. Также в состав комплекса входит теплотехническое оборудование обеспечивающее снабжение КСК теплом и горячей водой. Это может быть, как существующее в КСК оборудование, так и новое. Рассмотрены условия и требования, которые допускали бы интеграцию в состав создаваемого комплекса уже имеющихся в КСК типовых теплотехнических устройств, что снизит затраты на реализацию проекта и сделать его еще более привлекательным.

В докладе проводится обоснование выбора гидравлического гранулятора, который имея более высокую стоимость, имеет значительно меньшие эксплуатационные затраты, за счет более низкого (более чем в пять раз потребления электроэнергии) и более продолжительно межремонтного периода.

Теплоэнергетический комплекс позволит КСК не только повысить рентабельность функционирования, но и существенно улучшить экологическую ситуацию на территории клуба, так как отходы содержания не накапливаются, а перерабатываются сразу после их сбора.

*Е. А. Фоменко, аспирант;  
рук. К. А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ 225 МВт С БАРАБАННЫМИ КОТЛАМИ В РЕЖИМЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО ДАВЛЕНИЯ**

График нагрузок по энергосистеме России определяется потребностью заказчика и всегда характеризуется высокой нестабильностью. Что в свою очередь подталкивает к постоянному регулированию нагрузки энергоблоков, которое может обеспечиваться работой энергоблока, как при постоянном, так и при скользящем давлении перегретого пара за котлом [1]. При режиме работы энергоблока на скользящем давлении пара предполагается поддержание за котлом на всех нагрузках такого давления пара, которое требуется обеспечить на входе в турбину. Т.е. в режиме работы блока на скользящем давлении за котлом давление перегретого пара не поддерживается постоянным, а меняется в соответствии с требуемой нагрузкой блока. В сравнении с режимом работы на постоянном давлении экономический эффект получается за счет снижения собственных нужд электроэнергии на привод ПЭН, а также за счёт снижения потерь в турбине.

Была проведена сравнительная оценка экономической эффективности при переходе блока на работу с постоянного давления на скользящее, основанная на вычислении разницы расходов условного топлива на электроэнергию. Удельные затраты электроэнергии, которые не изменяются при переходе на скользящее давление не учитывались, чтобы исключить дополнительную погрешность. Результаты расчётов при разных режимах работы газовоздушного тракта представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Эффект перевода энергоблока на скользящее давление

№	Наименование	Параметр	135 МВт	190 МВт
1	Разница расходов условного топлива при работе энергоблока на скользящем и номинальном давлении, г/кВт*ч	$\Delta b_3^H$	3,28–7,99	1,02–1,3

Исходя из полученных результатов моделирования работы энергоблоков, учитывающего такие риски, как ухудшение циркуляции, пережоги труб и прочие, можно сделать вывод, что работа энергоблока мощностью 225 МВт при работе на скользящем давлении пара является более экономичной, поскольку значительно улучшаются показатели эффективности.

### **Литература**

1. **Трифонов Н. Н., Коваленко Е. В.** // Определение эффективности турбо- и электроприводов питательного насоса энергоблоков сверхкритического давления при работе на скользящем давлении пара / Теплоэнергетика. — 2011. — № 2.

*С. П. Черепанов, асп.; И. Ю. Шаров, асп.;  
рук. А. В. Волков, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАКРОШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ГИДРОМАШИН НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

11 июля 2007 года биолог Франк Фиш, авиационный инженер Филлип Уатс и предприниматель Стефан Дювар зарегистрировали в Европейском патентном ведомстве патент под номером EP1805412 (A1): «Турбины и компрессоры, использующие конструкцию ротора с бугристой передней кромкой» [1]. Их биомиметическая конструкция лопасти турбины, основанная на «бугристых» плавниках горбатых китов, может помочь ветряным электростанциям производить до 20% больше энергии и увеличить поток воздуха до 25% в промышленных вентиляторах и воздуходувках.

Цель данной работы: повысить энергетические и эксплуатационные характеристики рабочего колеса гидромашин за счет изменения макрошероховатости функциональных поверхностей.

Ввиду высокой сложности подобных расчетов, объектами изучения на начальном этапе являются твердые пластины, поскольку необходимо провести фундаментальные исследования по определению граничных условий при взаимодействии потока жидкости с твердой поверхностью в зависимости от характеристик рельефа и наличия макрошероховатости.

В программном пакете компьютерного моделирования Autodesk Inventor были смоделированы пластины с различной конфигурацией наростов (макрошероховатостей) на передней кромке. Они были представлены в трех основных вариантах: сферический нарост на передней кромке, эллиптический нарост, направленный вдоль пластины и эллиптический нарост направленный поперек пластины. Геометрические размеры макрошероховатостей задаются параметрически.

В математическом пакете компьютерного моделирования Autodesk CFD было смоделировано обтекание потоком жидкости пластин без макрошероховатостей и с наличием макрошероховатости на передней кромке. Был произведен анализ распределения скоростей в спутном слое на расстоянии 20 мм, 30 мм и 40 мм после пластины.

На базе экспериментальных стендов НИУ «МЭИ» планируется проведение эксперимента с целью подтверждения или опровержения полученных результатов.

### **Литература**

1. **Dewar S. W., Watts P., Fish F. E.** US Patent No. US 20090074578 A1 — Turbine and compressor employing tubercle leading edge rotor design (3/19/2009).

*П. М. Борщ, студ.; рук. В. Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## РАСЧЁТ СТУПЕНИ С ПЕРЕМЕННЫМ УГЛОМ ВЫХОДА $\alpha_1$

В данной работе представлен метод снижения потерь в ступени — применение профилей с переменным углом выхода потока  $\alpha_1$  из сопловых решёток. Задачи метода: расчёт потерь в решётках с переменным углом  $\alpha_1$ , сравнение решётки с переменным углом  $\alpha_1$  с решёткой из [1], профилирование лопаток с переменным углом  $\alpha_1$ . Рассматриваются две сопловые решётки. Первая — С9012А. Вторая — решётка с переменным по высоте профилем. Условия сравнения двух решёток: одинаковые кромки лопаток, одинаковые углы входа ( $\alpha_0=90^\circ$ ) в сопловые решётки, постоянные Махи  $M_{1t}$  и  $M_{2t}$  и одинаковое отношение хорды профиля к высоте лопатки  $b/l=1,16$  для решёток С9009А, С9012А, С9022А. Для первой из решёток проводится неполностью классический расчёт ступени с расходом  $G$ . Вторая решётка делается из лопаток с сечениями решеток в корне С9009А, а в ядре потока С9022А. Считается коэффициент профильных потерь энергии в ядре потока для решетки С9022А  $\zeta(\alpha_{1я})=0,023$ . Далее решается система из трёх уравнений:

$$v_1 \frac{dp}{dr} = \frac{c_{1u}^2}{r}, \quad (1^*), \quad \text{tg}(\alpha_1) \cdot r^m = \text{const}, \quad (2), \quad dp \cdot v_1 + c_1 dc_1 = 0, \quad (3),$$
 где уравнение (1\*) получается в результате угла навала  $\delta=0$  и подтвердившейся гипотезы, что  $\frac{\partial_\psi c_{r1}}{\partial z} = 0$  из уравнения (1.12) [2], так как  $c_{r1}(z)$  представляет собой равнобедренный треугольник, впрочем как и  $r(\alpha_1)$ . Сама лопатка разбивается на 23 сечения. В результате получаем решение:

$$c_1(r) = \frac{c_{1t}(r) \cdot r_{cp} \cdot \sqrt{1 - \zeta(\alpha_{1я})} \cdot e^{\frac{\text{tg}(\alpha_1) - \text{tg}(\alpha_{1я})}{m}}}{r(\alpha_1)}, \quad \text{где } m = \frac{\ln\left(\frac{\text{tg}(\alpha_{1я})}{\text{tg}(\alpha_{1л})}\right)}{\ln\left(\frac{r_{л}}{r_{cp}}\right)}.$$

Остальные параметры находятся по выражениям из [2] и по формулам из расчета для решётки С9012А. Потери мощности в сопловой решетке уменьшились на 40% в относительном выражении с учётом уменьшения расхода, в рабочей решетке на 28%, потери с выходной скоростью увеличились на 16%. Общий выигрыш в потерях мощности составил 53% в относительном выражении с учётом уменьшения расхода. Вывод: для снижения потерь в ступени рассматриваемый метод эффективен и оправдан.

### Литература

1. Лазарев Л. Я., Степанова Т. Н., Ряховская Н. В., Фадеев В. А. Геометрические и энергетические характеристики профилей турбинных лопаток постоянного сечения. М.: 2004. — 52 с.
2. Богомолова Т. В. Последние ступени паровых турбин // М. Издательский дом МЭИ, 2007, 80 с.

*А. В. Лукьянов, асп.; рук. К. А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕПЛОСПРИЯТИЯ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОГРЕВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО КОНТУРА КОТЛОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ**

Охлаждение труб в испарителе с естественной циркуляцией обеспечивается за счёт устойчивого движения среды. Устойчивость этого движения определяется конструктивными характеристиками циркуляционного контура и режимными параметрами, в частности различием между теплосприятием отдельных труб и их участков.

Для повышения надёжности работы котла осуществляют секционирование испарителя с обеспечением независимого подвода и отвода среды от поверхности теплообмена. Отрицательным моментом подобного устройства циркуляционной системы является усложнение конструкции котла, увеличение числа отводящих и подводящих труб и повышение металлоёмкости.

Особую сложность представляет собой обеспечение надёжной работы модульных котлов малой мощности. Они имеют жесткие ограничения габаритных размеров, сложность организации независимого отвода, подвода среды, значительные колебания режимных параметров. Часть труб работают в разных тепло-гидравлических условиях. Это может приводить к их повреждению и выходу из строя [1, 2]. В трубах испарителя могут наблюдаться режимы ухудшенного теплообмена, застоя и опрокидывания циркуляции с образованием паровых пробок, что недопустимо с точки зрения нормативных методик расчета. С другой стороны, подобные трубы могут работать продолжительное время без повреждений на номинальной нагрузке котла, и этому существует много свидетельств [2]. Однако снижение нагрузки, пуск и останов котла, использование непроектного топлива могут быстро привести к выходу из строя труб сложного контура естественной циркуляции и выводу котла из эксплуатации. В рамках данной работы была получена зависимость допустимой скорости циркуляции от режимных параметров.

### **Литература**

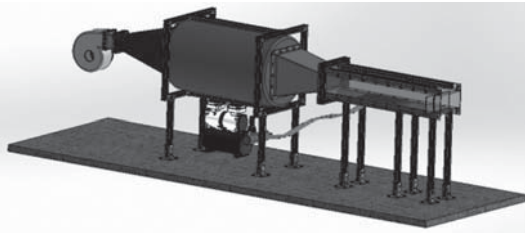
1. **Мейкляр М. В.** Повреждения водотрубных паровых котлов из-за нарушения циркуляции. М.: «ГЭИ», 1952.
2. **Плешанов К. А., Маслов Р. С., Панков В. С., Стерхов К. В., Хохлов Д. А.** Исследование причин повреждений испарительных труб контура низкого давления котлов-утилизаторов большой мощности. Теплоэнергетика, 2020, No 8, с. 58–69.



*Д. К. Летов, асп.; А. Ю. Макаров, асп.; Д. М. Андрианов, асп.;  
рук. В. Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОТВЕРСТИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

В настоящее время актуальна проблема разработки и модернизации уже существующих изделий, эксплуатируемых в сложных условиях, таких как лопаток газовой турбины. Неотъемлемой частью лопаток современных газовых турбин является система охлаждения. Необходимость усовершенствования системы охлаждения лопаток вызвана стремлением увеличить температуру на входе в турбину для повышения ее экономичности [1]. Появляется потребность в объединении процесса проектирования с экспериментальными исследованиями.



**Рис. 1.** Геометрическая модель натурального стенда для исследования влияния геометрии подводящего канала на формирование завесы подводимого охлаждающего воздуха

с одинаковой геометрией и начальными параметрами. Верификации подвергались газодинамика процесса формирования завесы, а также распределение температур на охлаждаемой поверхности. Также рассмотрена структура слоя подводимого охлаждающего воздуха для отверстий разной формы для натурального стенда, определены поля температур и эффективность охлаждения вблизи отверстия выдува. Результаты, полученные при верификации, позволяют изучить корреляцию расчетного и натурального методов исследования касательно влияния геометрии канала на пространственное течение охлаждающего воздуха.

В работе представлено исследование эффективности охлаждения для отверстий разной геометрии на натурном стенде (рис. 1). Проведено сравнение и первичная верификация результатов, полученных на натурном стенде с результатами численного моделирования формирования охлаждающей завесы на поверхности лопатки газовой турбины для моделей

### **Литература**

1. **Hada S. et al.**, Test Results of the World's First 1,600°C J-series Gas Turbine, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 49 No. 1 (2012), pp. 19–24.

*А. Е. Пикалева, студ.;  
рук. А. В. Титов, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Одним из способов повышения эффективности ПГУ в целом является повышение эффективного КПД газотурбинной установки.

Газовая турбина V94.3A имеет внешнюю камеру сгорания, что позволяет внести в конструкцию теплообменник между компрессором и камерой сгорания. Тем самым возможно реализовать цикл с промподогревом (уходящими газами подогреть воздух перед камерой сгорания).

С целью исследования данной модернизации ГТУ V94.3A были проведены расчеты климатических и дроссельных характеристик установки в Автоматизированной системе газодинамического расчета энергетических турбомашин (АС ГРЭТ) [1]. АС ГРЭТ включает проведение следующих видов расчетов: — расчет климатических характеристик; — оптимизация параметров ГТД, расчет характеристик на переходных режимах; — расчет коэффициентов влияния; — идентификация параметров модели по результатам стендовых испытаний на установившихся режимах; — расчет по стохастической модели; — модуль для стыковки математической модели САУ с нелинейной математической моделью ГТД.

Была сформирована математическая модель ГТД, которая состоит из входного устройства, агрегатов, компрессора, камеры сгорания, турбины и выходного устройства. Для согласования работы узлов в математической модели ГТУ были смоделированы программы и законы управления. Был произведен расчет параметров ГТУ до и после модернизации. [2].

По результатам расчета внешних дроссельных характеристик было получено, что КПД газотурбинной установки в результате модернизации увеличился на 8,8–12% в зависимости от начальной температуры газов. Расчет внутренних дроссельных характеристик показал, что увеличение КПД установки после установки теплообменного оборудования составило 7,46–14,2% в зависимости от мощности ГТУ. А в результате расчета климатических характеристик КПД установки увеличился на 8,8–19,4% в зависимости от температуры внешней среды.

### **Литература**

1. **Осипов Б. М., Титов А. В.** Автоматизированная система газодинамических расчетов энергетических турбомашин // Казань: изд. КГЭУ. 2012.
2. **Гафуров А. М., Усков Д. А., Осипов Б. М.** Модернизация энергоблока ГТУ-ТЭЦ с применением теплоутилизирующих установок // Изд.: ООО «Редакция журнала «Энергетика Татарстана» (Казань). 2012.2(26).

**Секция 50**  
**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*

*М. М. Савельев студ.; Л. С. Сапунова, асп.;  
рук. В. Н. Щугорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА И АНИЗОТРОПНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА**

Использование элементов конструкций из стеклопластиков способствует решению многих качественно новых задач, возникающих при проектировании сверхмощных электрических машин. Наиболее удачными являются конструкторские решения, в которых максимально реализуются свойства стеклопластиков как электроизоляционных и одновременно конструкционных материалов. Правильный выбор и рациональное использование различных видов стеклопластиков, обладающих существенной анизотропией механических и электроизоляционных свойств, являются важной задачей при оптимальном проектировании и изготовлении из них деталей.

В поставленном эксперименте наблюдается поведение полупространства из стеклопластика, по которому проходит низкоскоростной удар индентором сферической формы. Исследуются: несущая способность слоя, по которому прошёл удар, а именно пятно контакта; поведение и влияние ударных волн в матрице; поведение материала под пятном контакта. Также, для грамотного моделирования объекта исследования, решается контактная задача теории упругости о смятии абсолютно-жестким шаром анизотропного тела [1]. Построена экспериментальная диаграмма, показывающая момент появления отслоений и ударных кратеров в зависимости от радиуса и энергии индентора. Удар регистрируется с использованием скоростной камеры [2].

Полученные результаты помогут лучше изучить поведение композиционных материалов при низкоскоростном ударе. Результаты данного эксперимента, в частности полученные границы образования ударных кратеров при различных радиусах индентора, сравниваются с аналитическим решением, произведённым в КЭ-пакете ANSYS [3].

### **Литература**

1. **Васильев В. В., Протасов В. Д., Болотин В. В. и др.** Композиционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
2. **Мурзаханов Г. Х., Щугорев В. Н., Щугорев А. В., Цой В. Э.** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов // ВЕСТНИК РАЕН. 2018 Т. 18. № 2.
3. **Сапунова Л. С., Житков А. А., Щугорев В. Н.** Поведение слоистой балки при низкоскоростном ударе в зависимости от скорости и массы ударника // Тез. докл. XXVI Междунар. НТК студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». — М.: ООО «ЦПУ „Радуга“», 2020.

*А. А. Гольцев, А. В. Егоров, студенты;  
рук. В. Н. Щугорев, к.т.н., доц, (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИТНОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕО И АУДИО ФИКСАЦИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

В настоящее время композиционные материалы все чаще применяются в энергомашиностроении из-за их высоких механических свойств. Исходя из результатов работы можно в дальнейшем применять композитные материалы при конструировании различных подводных и надводных сооружений. За счет сложной структуры [1] композитных материалов достигаются хорошие прочностные характеристики и стойкость к воздействию окружающей среды. В настоящее время немаловажным являются сейсмические расчеты подводных сооружений, в этом случае необходимо знать, как ведут себя различные элементы конструкции, к примеру, балочные элементы конструкции, в водной среде.

Целью данного исследования является сравнение декремента затухания образца для водной и воздушной среды, с дальнейшей возможностью оценки вклада внешней, внутренней и конструкционной составляющей. Для регистрации процесса колебаний конструкций требуется применение специальной установки (в воде) и специальных устройств. Планируемый эксперимент по оценке декремента затухания проводился в бассейне объемом 300 литров, образец подсвечивался светодиодным осветителем. Балка подвергалась «жесткому» нагружению прогибом на незакрепленном краю. Процесс колебаний фиксировался с помощью водонепроницаемой камеры GoPro [2], с частотой 250 кадров в секунду, чего было вполне достаточно при колебаниях в подводной среде. Декременты затухания, обусловленные внутренним, внешним и конструкционным трением, в данном случае было получено, что внутреннее и конструкционное трение значительно меньше внешнего трения, поэтому декременты затухания, отражают внешнее трение в данной конструкции. Полученные декременты колебаний в водной среде оказались значительно больше чем в воздушной среде.

### **Литература**

1. **Болотин В. В.** Вибрации в технике. Колебания линейных систем. М: Машиностроение, 1978. Т. 1.
2. **Мурзаханов Г. Х., Щугорев В. Н., Щугорев А. В., Цой В. Е.** Использование скоростных Action видеокамер для оценки частот собственных колебаний композитной балки. Тр. 32-й сессии Российского акустического общества. — 2019.

*В. М. Овсянникова, студ.;  
рук. М. Н. Кирсанов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ФОРМУЛЫ ЗАВИСИМОСТИ ПРОГИБА БАЛОЧНОЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ

Плоские фермы являются одними из самых распространенных элементов конструкций в машиностроении. Традиционный расчет деформаций таких систем, выполненный на основе метода конечных элементов, можно дополнять аналитическими. В работе приводится новое аналитическое решение с учетом разных жесткостей поясов и решетки.

Плоская ферма высотой  $h$ , содержит в пролете  $2n$  панелей длиной  $a$  (рис. 1). Математическая модель фермы создается в программе на языке Maple. Ввод данных состоит из ввода координат узлов и ввода порядка соединения стержней поясов и решетки. В программу вносятся данные о ферме с параметрически заданными размерами и числом панелей.

Показано что форма конечной формулы не зависит от числа панелей:

$\Delta(n) = P(C_1 a^3 / k + C_2 c^3 + C_3 h^3 + C_4 d^3 + C_5 f^3) / h^2 EF$ , где  $d = \sqrt{16a^2 + h^2}$ ,  $c = \sqrt{a^2 + h^2}$ ,  $f = \sqrt{16a^2 + 9h^2}$ . Учтено отношение жесткостей поясов и решетки  $k = F_a / F > 1$ . Коэффициенты являются функциями  $C_1, \dots, C_5$ , числа панелей  $n$ . По данным расчетов отдельных ферм с числом панелей  $n=1, 2, 3, \dots$  составляются рекуррентные уравнения, решение которых дает выражения для общих членов последовательностей:

$C_1 = (15n^4 + 3n^2 - 88n + 116) / 36$ ,  $C_2 = (n - 2)^2 / 2$ ,  $C_3 = (n - 3) / 4$ ,  $C_4 = (n - 1) / 16$ ,  $C_5 = (5n - 4) / 144$ . В задаче о действии нагрузки на нижний пояс будут теми же, кроме коэффициента  $C_3 = (n - 2(-1)^n + 1) / 4$ . В решении использованы операторы `gf_findrecur` и `rsolve` системы Maple из пакета `genfunc`. Известны аналогичные решения для различных плоских статически определимых ферм из стержней равной жесткости [1, 2].

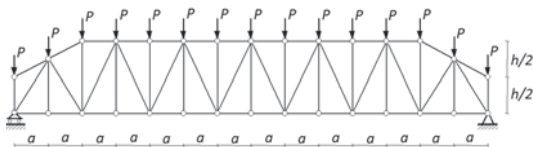


Рис. 1. Ферма, нагрузка по верхнему поясу,  $n=7$

### Литература

1. **Кирсанов М. Н.** Плоские фермы. Схемы и расчетные формулы: справочник. М.: ИНФРА-М, 2019.
2. **Кирсанов М. Н., Овсянникова В. М.** Аналитический расчет прогиба балочной фермы в системе Maple // Строительная механика и расчет сооружений. 2020. № 3.

*С. В. Попиль, студ.; рук. О. В. Новикова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

При сильном землетрясении в элементах конструкции могут возникнуть значительные неупругие деформации, образовываться местные разрушения, трещины. Несущая способность здания в неупругой области повышает его надежность [1]. Для большинства сооружений динамический анализ с учетом деформаций за пределами упругости является единственным достоверным методом расчета их реакции на сильные сейсмические воздействия.

Также, интерес представляют малоизученные длиннопериодные землетрясения и их влияние на нелинейность анализируемой системы [2]. Для этих землетрясений характерно расстояние от эпицентра до поражаемых зданий порядка сотен километров с периодами порядка 2...5 с. Эти воздействия наиболее опасны для конструкций с соответствующим диапазоном низших собственных частот.

Разработаны программы для моделирования искусственных акселерограмм большой интенсивности, моделирования билинейного гистерезиса с положительным упрочнением, численного интегрирования уравнений движения модели здания.

Получены графики реакции конструкции на искусственные акселерограммы большой интенсивности и на длиннопериодные землетрясения при различных коэффициентах жесткости  $\alpha$  на втором участке билинейного гистерезиса: гистерезисные петли в стойках, перемещение и абсолютное ускорение ригеля здания, позволяющие оценить поведение системы при заданных воздействиях.

Показано, что график ускорения ригеля повторяет вид акселерограммы, максимальное значение увеличивается с балльностью землетрясения. Показано что при изменении коэффициента жесткости на втором участке билинейного гистерезиса вид графика и максимальное значение перемещения ригеля меняется.

Результаты, полученные в данной работе, можно использовать для оценки несущей способности зданий и оптимизации конструктивных характеристик более сложных систем, включающих в себя многоэтажные здания, большие сооружения.

### **Литература**

1. **Болотин В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций. Москва: Машиностроение, 1984.
2. **Радин В. П., Позняк Е. В., Новикова О. В.** Реакция модели здания со снижением жесткости на длиннопериодные сейсмические воздействия // Вестник МЭИ. 2019. № 6.

Е. А. Петриченко, студ.;  
рук. М. Н. Кирсанов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ФЕРМЫ ФИНКА

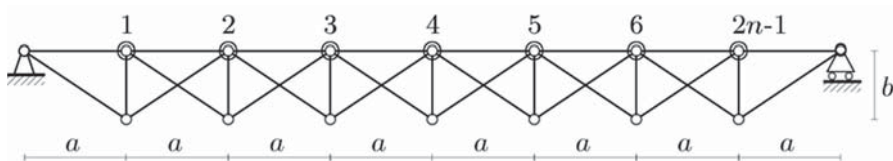


Рис. 1. Ферма,  $n = 4$

Аналитическое выражение частоты колебаний фермы существенно упрощает и уточняет расчет конструкции, контролируя в том числе и численные расчеты. В работе впервые выводится формула для нижней частоты собственных колебаний фермы Финка в зависимости от числа панелей. В ферме с крестообразной решеткой типа (рис. 1) грузы расположены в узлах верхнего пояса [1]. Массы грузов имеют лишь вертикальные перемещения, шарниры идеальные, а упругие стержни одинаковой жесткости не наделены массой. Усилия в стержнях находятся в программе, составленной на языке Maple, из решения системы уравнений равновесия узлов фермы. Для нижней оценки частоты используется метод Донкерлея. Жесткость фермы определяется по данным матрицы податливости, полученной по формуле Максвелла–Мора. Отдельные решения, найденные для ферм с различным числом панелей, обобщаются на произвольное число панелей. Коэффициенты итоговой формулы получаются из решения линейных рекуррентных уравнений четвертого порядка.

Формула для определения нижней оценки для произвольного числа панелей  $n$  имеет вид:

$$\omega_D^{-2} = m \sum_{i=1}^N \delta_i = m(C_1 a^3 + C_2 c^3 + C_3 b^3) / (nh^2 EF),$$

где  $m$  — масса,  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $h$  — высота фермы,  $EF$  — жесткость стержней. Коэффициенты  $C_1(n)$ ,  $C_2(n)$ ,  $C_3(n)$  в этой формуле определяются методом индукции.

Работа выполнена в рамках проекта «Динамика легких стержневых конструкций манипуляторов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» 2020–2022 гг.

### Литература

1. Петриченко Е. А. Нижняя граница частоты собственных колебаний фермы Финка // Строительная механика и конструкции. 2020. № 3 (26).



*Д. С. Дикарев, студ.;*  
*рук. В. Ю. Волоховский, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»);*  
*конс. О. А. Волоховская, к.т.н., в.н.с. (ИМАШ РАН)*

## **ВИБРОАКТИВНОСТЬ ДВУХПРОЛЕТНОГО ВАЛОПРОВОДА С ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ ПОГНУТОСТЬЮ РОТОРОВ И ОСТАТОЧНЫМИ ДИСБАЛАНСАМИ**

Исследована виброактивность на низших критических частотах при выбеге турбоагрегата (ТА) его двухпролетного валопровода, состоящего из ротора высокого давления и совмещенного ротора средне-низкого давления (система «РВД-РСНД»).

В расчетной модели системы предполагалось, что оба ротора имеют исходную погнутость (неустранимый прогиб) и остаточные неуравновешенности. Первоначальную погнутость ротора приобретают во время эксплуатации по причине температурной их нестабильности или в результате несоблюдения условий пуска ТА. Роторы соединены жесткой муфтой и установлены на анизотропных упруго-демпферных опорах (сегментных или эллиптических подшипниках [1]). Считалось, что формы осей свободных от нагрузок РВД и РСНД известны и представляют собой кривые, лежащие в одной плоскости. Результирующая кривая неустранимого прогиба оси валопровода системы «РВД-РСНД», приобретаемая после постановки его в подшипники, также является плоской. Величины стрелок исходного прогиба обоих валов и остаточных дисбалансов выбирались равными значениям, максимально допустимым нормами эксплуатации ТА.

На основе методики [2, 3] впервые исследована актуальная задача о влиянии неуравновешенностей, вызванных исходными погнутостями валов РВД и РСНД, при различных видах остаточных дисбалансов обоих роторов на амплитуды переходных колебаний валопровода системы «РВД-РСНД» в контрольных точках при выбеге ТА. Установлено, что для валопровода ТА с выбранными механическими параметрами (типа К-300-23.5 ЛМЗ), использование подшипников эллиптического типа приводит к снижению его виброактивности более, чем в два раза по сравнению с сегментными и поэтому их применение более целесообразно.

### **Литература**

1. **Костюк А. Г., Булкин А. Е., Трухний А. Д.** Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций / Учебник для вузов под ред. А. Д. Трухния // М.: Издательский дом МЭИ, 2018.
2. **Костюк А. Г.** Динамика и прочность турбомашин. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. **Kostyuk A. G., Volokhovskaya O. A.** Vibration activity evaluation of double-span rotor at rundown caused by its initial curvature and residual unbalanced // Thermal Engineering, 2017. Vol. 64, № 1.

*А. В. Киселев, студ.; рук. Е. В. Позняк д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

Цель исследования — нелинейный динамический анализ модели летательного аппарата (ЛА) в условиях качки на судне.

Задачи исследования:

- вывод уравнений движения ЛА с учетом нелинейной работы амортизационных стоек шасси;
- задание параметров качки судна по крену и тангажу;
- расчет нагрузок на стойки шасси и инерционных перегрузок агрегатов ЛА в зависимости от времени при различных условиях качки по крену и тангажу;
- исследование динамики летательного аппарата в зависимости от конструктивных параметров шасси (база шасси, вынос колес основных опор, угол выноса колес основных опор, расстояние от поверхности палубы до центра масс ЛА);
- устранение автоколебаний типа земной резонанс [1];
- исследование устойчивости летательного аппарата на качающейся палубе корабля.
- сравнение кинематических схем шасси при работе на качающейся палубе [2];
- анализ бокового смещения колес шасси с учетом юза.

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью уточнения инженерных методов расчета колебаний летательного аппарата на палубе корабля.

Новизна проведенных исследований состоит в разработке динамической нелинейной модели колебаний летательного аппарата на судне с учетом нелинейной работы амортизационных стоек шасси (нелинейная жесткость и однонаправленная работа на обжатие) и в исследовании влияния коэффициента трения колеса о палубу судна на боковое смещение летательного аппарата.

Исследование проведено с использованием расчетного комплекса Siemens Motion, применен решатель «Динамика». Результаты исследования будут применены при анализе динамики летательного аппарата на режимах взлета и посадки.

### **Литература**

1. **Миль М. Л.** Вертолеты расчет и проектирование. Машиностроение 1967. Т. 2
2. **Соковиков Ю. Г.** Применение вертолетов с авианесущих кораблей. Москва 1989.

*С. А. Харик, студ.; рук. Е. В. Позняк к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ**

Целью исследования является разработка системы «модель здания — полуактивный сейсмоизолятор» и оценка эффективности полуактивного виброизолятора для снижения сейсмической реакции модели. Актуальность проблемы связана с поиском наиболее эффективных способов предотвращения ущерба, причиняемого землетрясениями.

Основной задачей исследования является разработка модели здания с управляемым полуактивным вязко-упругим сейсмоизолятором, состоящим из параллельно соединенных упругого и вязкого элементов, а также активного устройства. Активное устройство генерирует управляющую силу на основе принципа обратной связи [1]. Оптимальное управление в системе осуществляется с помощью линейно-квадратичного регулятора (LQR-регулятор). Включение активного элемента в состав виброизолятора является новым перспективным способом повышения сейсмостойкости строительных конструкций.

Принцип работы полуактивного вязко-упругого демпфера состоит в следующем: состояние системы «модель здания — полуактивный сейсмоизолятор» оценивается при помощи датчиков. Данные о перемещениях и скоростях системы (компоненты вектора состояния) передаются в регулятор для формирования управляющей силы. Управляющая сила, действующая на модель здания совместно с упругой и вязкой восстанавливающими силами, пропорциональна компонентам вектора состояния, а коэффициентом пропорциональности выступает матрица коэффициентов усиления, которая является решением матричного уравнения Риккати [2].

Моделирование динамической реакции системы «модель здания — полуактивный сейсмоизолятор» проведено в MATLAB Simulink в режимах пассивной (без активного элемента) и активной (с активным элементом) сейсмоизоляции. Входное сейсмическое воздействие на модель задано в виде акселерограмм с различными спектральными свойствами природных землетрясений.

### **Литература**

1. **P. Kumar, R. S. Jangid, G. R. Reddy.** Response of piping system with semi-active variable stiffness damper under tri-directional seismic excitation // Nuclear Engineering and Design. V. 258, 2013.
2. **L.-Y. Lu, T.-K. Lin, R.-J. Jheng, H.-H. Wu.** Theoretical and experimental investigation of position-controlled semi-active friction damper for seismic structures // Journal of Sound and Vibration. V. 412, 2018.

*С. А. Монин, аспирант; рук. Е. В. Позняк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТРИБУН СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ ОТ ЗРИТЕЛЕЙ**

С появлением спортивных сооружений, трибуны которых представляют из себя большепролетные балочные или пластинчатые конструкции, стала актуальна задача об определении реакции трибун спортивных сооружений на согласованные действия зрителей. Задача представляет научный интерес, так как на данный момент не существует единой методики расчета на такой тип нагрузки.

В работе исследуется поведение модели трибуны, на которой несколько зрителей совершают прыжки с одинаковой частотой, но разными фазами — то есть, с некоторым запаздыванием относительно друг друга. Научная новизна исследования заключается в том, что оно впервые проводилось с применением метода статистического моделирования, то есть, были проведены серии численных экспериментов, в каждом из которых задавались случайные массы зрителей и их величины запаздывания, а затем была проведена статистическая обработка результатов — определение математического ожидания и стандартного отклонения коэффициентов динамичности.

Цель исследования — анализ влияния геометрических характеристик модели трибуны и параметров нагружения (в том числе, величины запаздывания), создаваемого зрителями, на величину коэффициента динамичности трибуны — отношения динамического прогиба в наиболее опасном сечении к статическому прогибу в нем.

Задачи исследования:

- разработка динамических моделей трибун спортивной сооружений (для линейной и нелинейной задач, резонансного и нерезонансного режимов нагружения);
- определение и сравнение коэффициентов динамичности моделей трибуны в резонансном и нерезонансном режимах;
- исследование влияния геометрической и физической нелинейностей на величину коэффициента динамичности;
- исследование влияния среднего отклонения фазы (среднего запаздывания) на величину коэффициента динамичности.

Расчеты были выполнены в программном комплексе Matlab с использованием среды моделирования Simulink и программном комплексе Ansys.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и проведении прочностных расчетов трибун сооружений для проведения спортивных и культурно-массовых мероприятий.

*А. М. Бхалла, асп.; рук. Е. В. Позняк к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Цель исследования — определение оптимальных параметров гистерезиса РМО (резинометаллических опор) для максимально возможного снижения сейсмической реакции пространственных конструкций (здание, высотное здание, протяженная мостовая конструкция и т. д.).

Задачи исследования:

- поиск и анализ книг, статей и диссертаций по теме исследования;
- подготовка приближённых математических моделей предложенных к рассмотрению пространственных конструкций в программном комплексе Matlab;
- моделирование нелинейной динамической реакции моделей пространственных конструкций, установленных на РМО, в ответ на сейсмические воздействия с различными спектральными свойствами;
- разработка методики определения оптимальных параметров гистерезиса РМО с целью максимального снижения сейсмической реакции конструкции;
- апробация методики на подготовленных моделях;
- сравнительный анализ результатов.

Актуальность исследования определяется перспективами применения недорогих и эффективных РМО в строительных и машиностроительных конструкциях для их сейсмозащиты.

- Подбор РМО неизбежно ведёт к столкновению с двумя основными проблемами:
- нелинейная работа РМО;
  - необходимость проектирования РМО с учетом спектральных свойств ожидаемого сейсмического воздействия.

Эти проблемы влекут за собой трудности, связанные с необходимостью быстрого проведения непростых расчётов в условиях чрезвычайной ситуации.

Новизна настоящего исследования заключается в разработке универсальной последовательной методики быстрого определения оптимальных параметров РМО, обеспечивающих эффективную сейсмозащиту рассматриваемой конструкции, с учетом обеих указанных выше проблем.

*М. В. Горячкина, асп., Запруднова А. Н., студ.;  
рук. А. Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ КИНЕТИЧЕСКИМ ИНДЕНТИРОВАНИЕМ**

В связи с интенсивным развитием технологий неразрушающего и безобразцового контроля материалов, методы индентирования находят всё более широкое применение при оценке их механических свойств. В частности, активно развивается кинетическое индентирование, которое позволяет определять характеристики твердости и модуль нормальной упругости материалов без изготовления образцов [1].

Вместе с тем, применение на практике существующих методов оценки модуля упругости по диаграммам вдавливания шарового индентора показывает, что полученные значения часто характеризуются большой погрешностью. В некоторых случаях определяемое значение модуля упругости может быть на порядок меньше, чем его референсное значение, полученное, например, при испытаниях растяжением с использованием экстензометра.

В связи с этим, существует необходимость разработки методики определения модуля нормальной упругости кинетическим индентированием, которая сможет давать более точные результаты. Для этого в настоящей работе проведены экспериментальные исследования, показывающие влияние различных факторов на точность определения модуля упругости методом кинетического индентирования. На основе полученных результатов, с использованием зависимостей, представленных в [1] и [2], была разработана методика определения модуля упругости, позволяющая оценить его при однократном испытании вдавливанием индентора с погрешностью не более  $\pm 10\%$

Личный вклад двух авторов работы заключался в подготовке образцов и материалов для экспериментов, проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

Разработанная методика в настоящее время применяется на практике для определения значения модуля упругости материалов, исследуемых в НИР кафедры, а также будет использована как инструмент для исследования механических свойств материалов в диссертационной работе автора.

### **Литература**

1. **Матюнин В. М.** Индентирование в диагностике механических свойств материалов. М.: МЭИ, 2015.
2. **Дрозд М. С., Матлин М. М., Сидякин Ю. И.** Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. М.: Машиностроение, 1986.

*М. В. Горячкина, асп., Д. С. Московская, студ.;  
рук. А. Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ**

Технологические особенности, возникающие при эксплуатации промышленных объектов, могут привести к появлению в металле зон с повышенным уровнем внутренних напряжений и пластической деформации. Такие зоны, являясь концентраторами напряжений, оказывают негативное влияние на общее структурно-механическое состояние металла и снижают надёжность работы агрегатов и конструкций.

Метод вихревых токов, основанный на анализе взаимодействия внешнего переменного электромагнитного поля, создаваемого обмоткой возбуждения, с полем вихревых токов, возбуждаемых в материале контролируемого изделия [1], является перспективным для выявления локальных зон концентрации напряжений, зон пластически деформированного металла и определения параметров их напряжённо-деформированного состояния.

В работе проведены экспериментальные исследования, которые позволили установить связь между параметрами вихретокового контроля (амплитудой вносимого напряжения) и средней степенью деформации металла при вдавливании  $\Psi_{вд}$ . На универсальной испытательной машине Instron 8801 проведена серия испытаний по внедрению шарового индентора диаметром  $D = 15,1$  мм в поверхность плиты из стали 09Г2С толщиной 18 мм. Получены кривые частотных зависимостей амплитуды вносимого напряжения, а также впервые установлены корреляционные зависимости между максимальным значением частотного распределения и контактной деформацией при вдавливании  $\Psi_{вд}$ .

Все экспериментальные исследования проводились авторами работы либо при их непосредственном участии. Анализ результатов испытаний и построение корреляционных зависимостей также проводились авторами работы. Полученные результаты могут быть использованы для диагностики металла агрегатов и оборудования как в лабораторных, так и в цеховых условиях.

Исследования выполнены в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» за счет гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (соглашение № 075-15-2019-333 (МК-2162.2019.8)).

### **Литература**

1. **Неразрушающий контроль:** Справочник в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2. кн.1. М.: Машиностроение, 2003.

*М. В. Горячкина, асп.; И. В. Мищенко, студ.;  
рук. Д. В. Чернов, к.т.н., ст. пр. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В МАТЕРИАЛАХ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

Достоверное выявление дефектов на ранней стадии процесса накопления повреждений является одной из актуальных задач технической диагностики металла изделий и конструкций. Для решения поставленной задачи на практике применяют системы промышленного мониторинга, например, акустико-эмиссионные (АЭ) системы контроля, основанные на явлении генерации упругих волн при структурных изменениях материала [1]. Одной из проблем, возникающих в процессе АЭ-мониторинга, является точное определение местоположения дефекта. Традиционным способом определения местоположения источника АЭ является построение локационной картины по значениям групповой скорости и разности времен прихода импульсов АЭ на преобразователи. Однако, анизотропия акустических свойств и технологические особенности промышленных объектов приводят к усложнению технологии контроля.

В настоящей работе проведено конечно-элементное моделирование процесса акустико-эмиссионного контроля, по результатам которого предложена методика, позволяющая повысить точность построения локационных картин источников АЭ. Представлены результаты построения трехмерной конечно-элементной модели контроля стальной пластины двумя преобразователями акустической эмиссии. Разработка конечно-элементной модели позволила определить дисперсию скорости распространения импульсов АЭ, выбранную в качестве критерия точности выявления местоположения дефекта. Отмечается, что относительная погрешность между модельными и экспериментальными значениями дисперсии скорости распространения импульсов составила 9,4%. Таким образом, применение метода конечных элементов с высокой точностью позволило оценить дисперсию скорости без проведения большого количества предварительных испытаний и повысить точность выявления местоположения дефекта.

Эксперименты и анализ полученных результатов полностью проведены авторами доклада. Полученные результаты могут быть использованы на практике при диагностике дефектов металла промышленного оборудования.

### **Литература**

1. **Иванов В. И., Власов И. Э.** Метод акустической эмиссии. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. Т. 7. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2005.



**Секция 51**  
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ**  
**СИСТЕМЫ**  
**Robotic and mechatronic systems**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., доцент Меркурьев Игорь Владимирович*

*Секретарь секции: к.ф.-м.н., доцент Капустина Ольга Михайловна*

*Д. И. Васильченко, студ.;*  
*рук. Г. В. Панкратьева, к. ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ШЕСТИЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ФИРМЫ UNIVERSAL ROBOTS**

Данная работа посвящена построению математической модели и исследованию параметров движения шестизвеного манипулятора UR3e от компании Universal Robots.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью построения управления движением манипулятора для транспортировки грузов по заданной траектории.

В работе решены прямая и обратная задача кинематики о положениях и скоростях, построена рабочая область схвата манипулятора, определен закон управления движением манипулятора, исследована манипулятивность [1] на программном движении.

При построении и анализе математической модели использованы традиционные в теории манипуляторов методы: метод однородных координат [3], методы теории кинематических винтов и верзоров [2], численные методы математического моделирования.

В результате получен закон управления движением, обеспечивающий движение по заданной траектории. Анализ манипулятивности показывает, что манипулятор не принимает сингулярные конфигурации в процессе движения.



**Рис. 1.** Робот-манипулятор Universal Robots UR3e

### **Литература**

1. **Капустина О. М.** Манипулятивность робота KUKA youBot и планирование его движений // Экстремальная робототехника. — 2018. — Т. 1, № 1. — С. 286–301.
2. **Корецкий А. В., Осадченко Н. В.** Компьютерное моделирование кинематики манипуляционных роботов. — М.: Издательство МЭИ, 2000. — 48 с.
3. **Шахинпур М.** Курс робототехники: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 527 с.

Г. Р. Сайпулаев, асп.; рук. Б. И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

## АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕКАНУМ-ПЛАТФОРМЫ С УЧЁТОМ КОНСТРУКЦИИ КОЛЁС

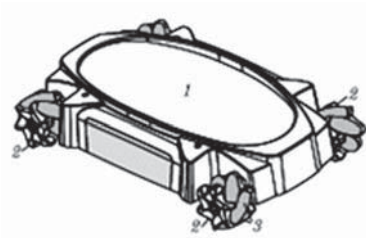


Рис. 1. Платформа мобильного робота KUKA youBot

Рассматривается мобильная платформа всенаправленного движения 1 робота KUKA youBot (рис. 1), оснащенная двумя парами механум-колес. На их периферии расположены пассивные ролики 3, оси которых составляют угол с осями вращения колес 2. В большинстве работ, посвященных динамике подобных систем, рассматривается упрощенная модель колёс [1,2]. Однако в последние годы опубликованы результаты исследований влияния инерционности роликов, их конечного количества и реальной геометрии на динамику платформ [3, 4].

Целью исследования является изучение динамики механум-платформы с учётом реальной конструкции шасси.

Построены уравнения движения платформы с учётом конструкции механум-колес и проскальзывания в точке контакта ролика и опорной поверхности. Переключение контактирующих роликов приводит к появлению высокочастотных составляющих продольной и поперечной скоростей платформы [4]. Проведено осреднение уравнений кинематики платформы по углам поворота контактирующих роликов. Полученные приближённые уравнения движения платформы могут быть использованы для синтеза алгоритмов управления. Показано, что скорости платформы, численно полученные из осредненных и исходных уравнений, близки на исследуемом интервале времени.

### Литература

1. Мартыненко Ю. Г. О движении мобильного робота с роликонесущими колёсами / Ю. Г. Мартыненко, А. М. Формальский // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2007. — № 6. — С. 142–149.
2. Adamov B. I. A study of the controlled motion of a four-wheeled mecanum platform // Nelineinaya Dinamika. 2018. vol. 14. no. 2. pp. 265–290.
3. Герасимов К. В. Динамика экипажа на омни-колесах с массивными роликами с учетом смены ролика в контакте с опорной плоскостью / К. В. Герасимов, А. А. Зобова // Труды МАИ. — 2018. — № 101. — С. 1–26.
4. Adamov B. I., Saypulaev G. R. Research on the dynamics of an omnidirectional platform taking into account real design of mecanum wheels (as Exemplified by KUKA youBot) // Nelineinaya Dinamika. 2020. vol. 16. no. 2. pp. 291–307.

*В. К. Зимичев, асп.; А. И. Кобрин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУНОГО АППАРАТА С ОПОРОЙ**

Представленная работа связана с необходимостью построения математической модели нестационарного контактного взаимодействия двуногого шагающего аппарата с подстилающей поверхностью. Анализируются существующие модели взаимодействия твердых тел, учитывающие протяженность области контакта, динамическое распределение давлений и сцепления материалов, и методы исследования этих моделей.

Синтез управления для разработанной модели формируется на базе прямых нейронных сетей радиально-базисных функций с шумоподавляющими (помехоустойчивыми) автоэнкодерами, которые позволяют реализовать обучение без учителя в методе обратного распространения ошибки. Такие сети используют частотное кодирование и обладают способностью к обучению на примерах и к обобщению данных. Они имеют возможность адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, обладают высоким уровнем устойчивости к незначительным повреждениям элементов. В дальнейшем предполагается использовать и динамические спайковые нейросети.

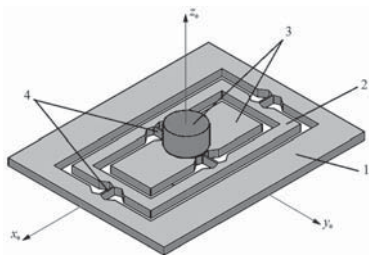
В методе прямого прохождения нейронной сети и методе обучения «с учителем» используются данные, полученные от микромеханических датчиков (акселерометра *ADXL345* и гироскопа *BMI160*). Алгоритм обучения одновременно происходит в две стороны: от определения положения суставов нижних конечностей к данным датчиков и обратно. Управление шагающим аппаратом производится с компьютера посредством сети *wi-fi*. На аппарате установлена плата *ESP8266*, отвечающая за сбор, приём и передачу данных.

### **Литература**

1. **Зимичев В. К., Кобрин А. И.** Нейроуправление адаптируемой динамикой шагающего робота. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020. — С. 997.
2. **Зимичев В. К., Кобрин А. И.** Использование двунаправленной системы обучения при реализации нейроуправления шагающим аппаратом. Всероссийская конференция молодых ученых-механиков YSM-2020 (3–13 сентября 2020 г., Сочи, «Буревестник» МГУ): Тезисы докладов. — М.: Издательство Московского университета, 2020. — С. 165.

*М. Р. Сайпулаев, асп.; рук. И. В. Меркурьев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С УЧЕТОМ НЕСОВЕРШЕНСТВА ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ



**Рис. 1.** Конструкция ММГ:  
1 — основание, 2 — промежуточная  
рамка, 3 — чувствительный элемент,  
4 — торсионы

Микромеханические гироскопы (ММГ) [1] являются широко используемыми датчиками инерциальной информации навигационных систем авиационного, космического и наземного применения. Создание адекватных математических моделей ММГ является важным этапом разработки конструктивных схем и повышения точности датчиков [2].

Целью работы является исследование вынужденных нелинейных колебаний ММГ R-R типа с учетом нелинейности электростатических датчиков управления, погрешностей, обусловленных неортогональностью

осей упругого подвеса и смещением центра масс инерционного элемента относительно геометрического центра упругого подвеса.

Рассматривается конструкция ММГ (рис. 1) с промежуточной рамкой, в которой чувствительный элемент состоит из сбалансированной пластины и инерционной массы.

В работе построены нелинейные уравнения вынужденных колебаний чувствительного элемента ММГ на подвижном основании. Исследование полученных уравнений проводится методом осреднения Крылова–Боголюбова [3] при учете мягкого резонансного возбуждения нелинейных колебаний. Найдены стационарные режимы колебаний ММГ и исследовано влияние погрешностей изготовления и нелинейных эффектов на амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики системы.

### Литература

1. Пешехонов В. Г. Перспективы развития гироскопии // Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28. № 2 (109). С. 3–10.
2. Меркурьев И. В., Подалков В. В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: Физматлит, 2009, 228 с.
3. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 503 с.

О. В. Воробьев, асп.;  
рук. М. Н. Кирсанов д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ ДВУЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

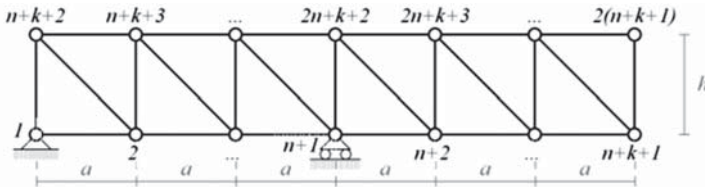


Рис. 1. Элемент манипулятора в виде ферменной конструкции [1]

Манипуляторы на основе ферменных конструкций находят широкое применение в промышленности при автоматизации производства. Их использование в определённых отраслях, в частности при производстве микросхем, требует высокой точности и надёжности. Анализ частотных характеристик моделей данных манипуляторов повышает их эффективность. В случае регулярной структуры ферменной конструкции возможным становится получение обобщённых аналитических зависимостей частоты колебаний от числа панелей для целого класса конструкций. Схема легкого манипулятора с  $n$  панелями в пролете и  $k$  в консоли представлена плоской шарнирно-стержневой моделью с массами  $m$  в узлах [1]. Основная частота колебаний оценивается методами Донкерлея ( $\tilde{\omega}_D(n)$ ) и Рэлея ( $\omega_R(n)$ ). Обобщение решения на произвольное число панелей получается из серии решений задачи для фермы с последовательно увеличивающимся числом панелей методом в системе компьютерной математики Maple. Выведенные формулы для оценок основной частоты при  $n=k$  имеют вид:

$$m\tilde{\omega}_D^2(n) = EF45nh^2a^2 / (C_{D,1} + C_{D,2}n + C_{D,3}n^2 + C_{D,4}n^3 + C_{D,5}n^4 + C_{D,6}n^5),$$

$$\omega_R^2(n) = 378h^2EF \sum_{i=1}^5 C_{RN,i}n^{i-1} / (m \sum_{j=1}^9 C_{RD,j}n^{i-1}),$$

здесь  $C_{D,s}, C_{RN,i}, C_{RD,j}$  — функции размеров  $a, h$ ;  $EF$  — жесткость стержней. Полученные результаты предназначены для расчета первой частоты манипуляторов подобной топологии на этапе проектирования частотных характеристик.

Работа выполнена в рамках проекта «Динамика легких стержневых конструкций манипуляторов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» 2020–2022 гг.

### Литература

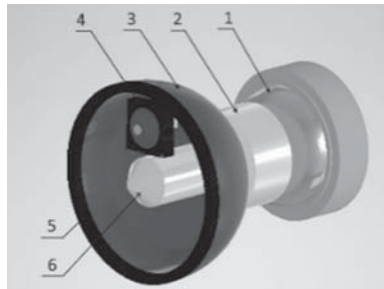
1. Vorobev O. Bilateral analytical estimation of first frequency of a plane truss // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. № 7 (92). С. 21–29

*Е. А. Петриченко, студ.; Чан Туан Чунг, асп.;  
рук. И. В. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ**

Объектом исследования в данной работе является манипулятор для определения твердости материалов методом Роквелла в труднодоступных для человека местах. Задача состоит в разработке устройства для автоматизации процесса, которое позволяет позиционировать индентор перпендикулярно поверхности. Преимущество данного робота по сравнению с аналогами заключается в том, что он может осуществлять неразрушающий контроль деталей, размеры которых обладают большим разбросом.

Робот состоит из крепежного элемента, который перемещается по вертикали с помощью передачи винт-гайка. К этому элементу прикреплен двузвенный манипулятор. На конце второго звена шарнирно закреплены датчик усилия и полусфера, в центре которой размещен индентор. Определяются моменты для создания необходимого усилия [1]. При соприкосновении устройства с поверхностью считывается информация от датчика усилия [2], ЭВМ обрабатывает информацию, через драйвер управления двигателями подаются управляющие напряжения на приводы звеньев. Для выполнения необходимых условий позиционирования было разработано следующее устройство.



**Рис. 1.** Позиционирующее устройство

На рисунке 1: 1 — сферический шарнир, 2 — датчик усилия, 3 — полусфера, 4 — мини-камера, 5 — резиновая прокладка, 6 — индентор.

Индентор расположен в одной плоскости с внешней кольцевой стороной прокладки, и до взаимодействия с исследуемой поверхностью индентор полностью находится внутри сферы. В процессе определения твердости материала резина прогибается и позволяет индентору создать углубление на исследуемой поверхности.

### **Литература**

1. **Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р.** Курс теоретической механики. М.: из-во Лань, 2006
2. **Гориневский Д. М., Формальский А. М., Шнейдер А. Ю.** Управление манипуляционными системами на основе информации об усилиях / Под ред. В. С. Гурфинкеля и Е. А. Девянина. — М.: Физматлит, 1994.

*Н. А. Зименков, студ.; рук. Б. И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)*

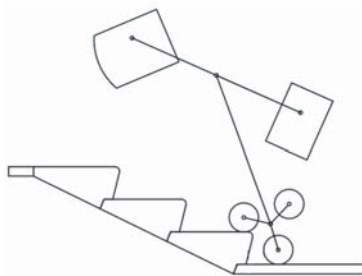
## СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА-КУРЬЕРА

Значимыми областями применения мобильных роботов являются транспортировка грузов, перемещение комплектующих в складских помещениях, доставка документов и мелких грузов в офисах. Новым прикладным направлением робототехники является решение проблемы «последней мили», то есть последнего этапа доставки товаров до двери покупателя.

Главным препятствием для роботов-курьеров внутри помещений являются лестницы. В работе предложена новая схема робота-курьера, позволяющая ему выполнять подъём по лестнице. Шасси робота представлено двумя колесными трилистниками с каждой стороны (рис. 1), управление которыми осуществляется с помощью электроприводов.

Построена модель динамики робота-курьера как электромеханической системы [1, 2]. Проведена линеаризация полученных уравнений в окрестности программного движения. С помощью уточненного критерия Калмана [3] доказана полная управляемость системы. Синтез закона стабилизирующего управления был проведён в рамках решения линейно-квадратичной задачи оптимального управления [4].

Проведено моделирование процессов стабилизации и управления системой, рассмотрены разные этапы движения при подъёме по лестнице. Получены зависимости обобщённых координат и управляющих воздействий от времени.



**Рис. 1.** Схема исследуемого робота-курьера

### Литература

1. **Y. Yamamoto**, NXTway-GS Model-Based Design — Control of self-balancing two-wheeled robot built with LEGO Mindstorms NXT (2008). 1 stedn., February 29 (2008).
2. **Усолецев А. А.** Общая электротехника: Учебное пособие. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. — 301 с.
3. **Тамасян Г. Ш.** Программные управления и наблюдаемость: Учеб. пособие / Тамасян Г. Ш. СПб.: Издательство «СОЛО», 2008. 74 с.
4. **Поляк Б. Т., Хлебников М. В., Рапопорт Л. Б.** Математическая теория автоматического управления: учебное пособие. — М.: ЛЕНАНД, 2019. — 500 с.



К. А. Компанец, студ.; рук. О. М. Капустина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МАНИПУЛЯТИВНОСТИ ДВУХСТЕПЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

При корректно спланированном движении робот не попадает в сингулярные конфигурации. Чтобы количественно оценить «расстояние» до сингулярности часто используется функция манипулятивности [1], имеющая для неизбыточного манипулятора вид

$$w = |\det \mathbf{J}|,$$

где  $\mathbf{J}$  — матрица Якоби отображения пространства обобщенных координат робота в пространство параметров локации рабочего органа. В сингулярных конфигурациях  $w = 0$ .

В задаче о сближении рабочего органа двухстепенного трехзвенного манипулятора с движущейся деталью [2] сингулярные конфигурации не исследуются. В [3] проведён анализ таких конфигураций и графически показано, что в процессе сближения робот в них не попадает. В настоящей работе этот вывод подтверждается численно-аналитическим исследованием функции  $w$  на траектории сближения. Результаты представлены на рис. 1, рис. 2 в виде графиков функций  $w(t)$ ,  $w(\varphi_1, \varphi_2)$ ,  $t$  — время,  $\varphi_1, \varphi_2$  — углы поворота звеньев.

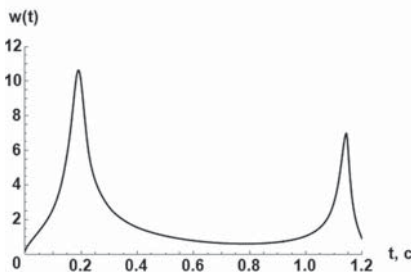


Рис. 1. График функции  $w(t)$

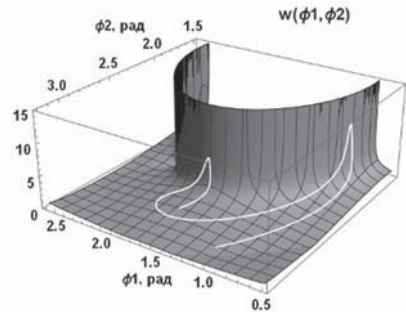


Рис. 2. График функции  $w(\varphi_1, \varphi_2)$ , белая кривая на поверхности соответствует траектории сближения

### Литература

1. Yoshikawa T. Manipulability of Robotic Mechanisms // The International Journal of Robotics Research, Vol. 4, No. 2, Summer 1985. P. — 3–9.
2. Новожилов И. В., Зацепин М. Ф. Типовые расчеты по теоретической механике на базе ЭВМ. М.: Высш. шк., 1986.
3. Капустина О. М., Компанец К. А. Пример аналитического исследования сингулярной кинематики трёхзвенного робота-манипулятора // Сборник научно-методических статей. Теоретическая механика. Вып. 31 / Под редакцией профессора В. А. Самсонова. — М.: Издательство Московского университета. 2020. — С. 51–59.

А. А. Жуков, студ.; рук. Г. В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИРОСКОПА КАМЕРТОННОГО ТИПА ПРИ УГЛОВОЙ ВИБРАЦИИ ОСНОВАНИЯ**

Данная работа посвящена актуальной теме математического моделирования динамики микромеханических гироскопов [1]. В работе рассматривается вибрационный гироскоп, чувствительный элемент которого состоит из двух упругих стержней, связанных с основанием прибора упругой ножкой. Решается задача функционирования гироскопа камертонного типа в случае высокочастотной угловой вибрации основания [2].

Полученные уравнения малых колебаний двухчастотной механической системы представляют собой систему уравнений параметрических колебаний типа Матье-Хилла [3]. Исследование уравнений выполняется традиционным для таких задач методом осреднения.

Результаты анализа уравнений линейного приближения для случая, когда частота вибрации далека от резонансной частоты чувствительного элемента, показывают, что собственные колебания при наличии трения затухают, а угловая вибрация не влияет на точность определения постоянной составляющей угловой скорости основания.

Для случая главного параметрического резонанса, когда частота угловой вибрации близка к удвоенной собственной частоте, получено, что параметрическое возбуждение колебаний на резонансной частоте может привести к экспоненциальному росту амплитуды колебаний и дать дополнительный уход гироскопа. Анализ построенной области неустойчивых колебаний при различных значениях постоянной составляющей угловой скорости основания и коэффициента демпфирования демонстрирует уменьшение области неустойчивости при увеличении коэффициента демпфирования и при увеличении постоянной составляющей угловой скорости.

### **Литература**

1. Меркурьев И. В., Подалков В. В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 228 с. — ISBN 978-59221-1125-6.
2. Меркурьев И. В., Подалков В. В., Ву Тхе Чунг Зыап. Влияние угловой вибрации основания на динамику микромеханического гироскопа // Вестник МЭИ. — 2010. № 3. — С. 9–15.
3. Бутиков Е. И. Параметрический резонанс при плавной модуляции параметра // Компьютерные инструменты в образовании. — 2010. № 1. — С. 37–53.

И. Д. Васильков, студ.; рук. Б. И. Адамов, к. ф.-м. н. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О СКОРОСТЯХ ИЗБЫТОЧНОГО МОБИЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА KUKA YOUBOT



Рис. 1. Мобильный робот KUKA youBot

Рассматривается мобильный манипулятор KUKA youBot, представленный на рисунке, состоящий из мобильной платформы с двумя парами механум-колес и пятизвенной руки-манипулятора.

В данной работе предложен алгоритм решения обратной задачи кинематики о скоростях для избыточного манипулятора. Для составления кинематических уравнений были использованы метод Денавита-Хартенберга и метод теории винтов [1, 2]. Для решения недоопределённой системы линейных алгебраических уравнений строилось нормальное псевдорешение [3, 4, 5].

Проведён анализ построенных кинематических уравнений. Реализованы алгоритмы решения обратной задачи о скоростях для избыточного манипулятора в математическом пакете *Wolfram Mathematica* и на бортовом компьютере робота. Были рассмотрены частные случаи поступательного движения схвата робота по окружности без сингулярных конфигураций и по прямой при наличии сингулярных конфигураций.

### Литература

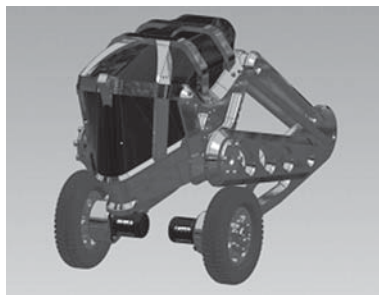
1. **Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А.** Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. — 108 с.
2. **Корецкий А. В., Осадченко Н. В.** Компьютерное моделирование кинематики манипуляционных роботов. — М.: Издательство МЭИ, 2000. — 48 с.
3. **Цехан О. Б.** Матричный анализ. Учебное пособие, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2010. — 187 с.
4. **Адамов Б. И., Маслов А. Н., Осадченко Н. В.** Применение основных матричных разложений в задачах механики и робототехники — М.: Издательство МЭИ, 2019 — 84 с.
5. **Жданов А. И.** Введение в вычислительную линейную алгебру [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие. Самарский государственный аэрокосмический университет имени С. П. Королева — Самара, 2011.

*И. В. Апанасевич, В. В. Кузнецов, студенты; Р. Б. Гарсия асп.;  
рук. И. В. Меркурьев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Объектом исследования является мобильный колесный робот с изменяемым положением центра масс, предназначенный для выполнения ряда технологических задач в труднодоступных и опасных для человека условиях.

Актуальность проекта по созданию новых робототехнических систем обусловлена многочисленными приложениями роботов в промышленности, на транспорте и в быту. Поставлена задача разработки новой конструктивной схемы и системы автоматического управления движением мобильного робота, способного перемещаться по пересеченной местности, преодолевать ступени и неровности на подстилающей поверхности. В качестве прототипа выбран робот HANDLE™ для складских помещений компании Boston Dynamics (США).



**Рис. 1.** Конструкция мобильного робота

С использованием системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor разработан цифровой прототип робота и проведено математическое моделирование сборки функциональных узлов робота и движения системы в пространстве.

Для исследования динамики робота применен формализм Лагранжа и методы символьных и численных вычислений в среде Wolfram Mathematica. Полученные нелинейные дифференциальные уравнения робота описывают движение мобильного робота в продольной плоскости. Для преодоления препятствия в виде ступени применены методы теории автоматического управления, позволяющие оценивать компоненты вектора состояния системы и построить импульсное управление приводами системы. В докладе обсуждаются вопросы создания макетного образца робота и отладки программного обеспечения системы управления движением.

*Работа выполнена при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020–2022 гг.*

*Д. Диб, А. М. Селиванов, В. А. Юркевич, студ.;  
рук. И. В. Меркурьев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В АКТИВНОМ ЭКСОСКЕЛЕТЕ ЧЕЛОВЕКА**

Объектом исследования является многозвенный управляемый на базе электро-гидропневмопривода экзоскелет человека, позволяющий увеличить физические способности человека. Актуальность исследований обусловлена бурным развитием робототехники, экзоскелетов и антропоморфных роботов, применяемых в различных сферах деятельности человека, в многочисленных производственных, бытовых и медицинских приложениях.

Поставлена задача разработки новой конструктивной схемы гибридной электро-гидропневмомеханической системы, управляющей корпусом человека и подвижными стержневыми и тросовыми элементами для реализации энергоэффективного движения, близкого к локомоции человека.

В качестве прототипа выбран гидравлический коленный механизм компании Össur с системой контроля фаз опоры и переноса колена, который обеспечивает естественную походку для пациентов с различными нарушениями в опорно-двигательном аппарате.

В докладе представлена новая математическая модель многозвенного активного экзоскелета человека, построенная с использованием системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. Разработанный цифровой прототип экзоскелета позволяет рационально выбрать параметры математической модели системы из условия полной управляемости системы в вертикальном неустойчивом положении равновесия и обеспечения минимума энергозатрат на стабилизацию системы в заданном положении.

При составлении уравнений движения экзоскелета и математических моделей привода использован формализм Лагранжа, среда программирования Matlab Simulink и программный комплекс Wolfram Mathematica. Полученные численные решения нелинейных дифференциальных уравнения экзоскелета описывают движение системы в сагитальной плоскости. Для стабилизации вертикального неустойчивого положения системы применены методы теории автоматического управления, позволяющие минимизировать энергозатраты на управление приводами экзоскелета.

*Работа выполнена при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020–2022 гг.*

*А. С. Федулова, асп. (НИУ «МЭИ»); А. С. Войцицкий, студ.;  
рук. Д. С. Рассказа, ассистент (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА РОБОТА, УПРАВЛЯЕМОГО С ПОМОЩЬЮ СВЕТОВОГО ПОТОКА**

Описывается процесс создания аппарата, использующего при управлении движением преобразование светового потока в информацию с помощью фотоэлементов [1]. Актуальность разработки заключается в возможности применения такого робота для перемещения объектов, чувствительных к воздействию света.

В работе [2] было представлено несколько этапов разработки и модификации робота, изображённого на рисунке. На основе микроконтроллера L293D был смоделирован и собран действующий аппарат. Функцию рецепторов выполняли фоторезисторы, которые меняют своё сопротивление в результате воздействия светового потока. Изменение сопротивления служит сигналом для включения моторов, приводящих робот в движение. Основными требованиями, предъявляемыми при разработке робота, были: простота сборки, сравнительно высокая скорость движения, достаточная продолжительность работы устройства.



**Рис. 1.** Разрабатываемый аппарат

В аппарате, описываемом в настоящей работе, создан облегченный корпус, поставлены более мощные моторы, добавлен редуктор поворотов для обеспечения плавности движений и модули зарядки.

Эксперименты показали, что построенному аппарату не хватает мощности двигателей для реализации движения. Кроме того, оказалось, что для достижения приемлемой скорости необходимо использовать более чувствительные фоторезисторы.

Полученные результаты достаточны для изготовления по разработанным схемам робота, удовлетворяющего условиям.

### **Литература**

1. **Уарова Р. М.** Основы цифровой печати. М: МГУП, 2005.
2. **Войцицкий А. С., Рассказа Д. С.** Разработка проекта «робот-трус» // ИТЭиЭ Сб. трудов XVIII-й Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, 2020. Т 2. с. 32–36.

**Направление XI**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**  
**Electrical power engineering**

---

**Руководитель направления:**  
к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич —  
директор института электроэнергетики НИУ «МЭИ»

**Секция 52**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**  
**Electric power engineering systems**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Олег Николаевич*

*Секретарь секции: Зубкова Ирина Сергеевна*



*А. В. Кочергин, асп.; Р. В. Тимохин, Г. С. Локтионов, студенты;  
рук. А. Н. Шаров, ст. преп., С. В. Локтионов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФАЗОСДВИГАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА НА РЕЖИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЭС**

Фазосдвигающие трансформаторы (ФСТ) относятся к классу FACTS оборудования, задачей которых является превращение линий электропередач из пассивных элементов энергосистемы в активные.

Из опыта эксплуатации ФСТ известно о ряде их технических особенностей, которые необходимо учитывать при работе с ними, в частности — это влияние реактивного сопротивления ФСТ на параметры режима сети, в которой он установлен. В силу особенностей конструкции ФСТ его реактивное сопротивление значительно увеличивается при больших углах регулирования, а это значит, что оно способно влиять на параметры режима ЭЭС. В [1] отмечалось, что при потоках мощности в 1500 МВт между Польшей и Германией требуется устанавливать угол регулирования ФСТ  $\pm 45^\circ$ . Поэтому необходимо учитывать данный факт при эксплуатации сетей с ФСТ. В качестве примера была рассмотрена ЭЭС, состоящая из передающей электрической станции, приемной системы и контура сети, содержащей ЛЭП 500 и 220 кВ. В результате принудительного вытеснения потоков активной мощности из линии 220 кВ в линию 500 кВ удалось снизить потери активной мощности и увеличить предел передаваемой мощности по условию длительно допустимого нагрева проводов. Однако при этом расчеты предела статической аperiodической устойчивости (САУ) показали, что происходит снижение значения предельной передаваемой мощности по сечению 500/220 кВ за счет роста реактивного сопротивления ФСТ. Так при угле регулирования ФСТ  $-7^\circ$  значение коэффициента САУ по мощности снижается на 5%, а при угле в  $-20^\circ$  на 9%. Рост реактивного сопротивления ФСТ ведет к уменьшению площадки торможения, а значит предельного угла отключения и времени предельного отключения короткого замыкания. Таким образом значительное изменение величины угла регулирования ФСТ приводит к росту его реактивного сопротивления, что влияет в свою очередь на САУ и динамическую устойчивость ЭЭС. Это обстоятельство надо принимать во внимание при долговременных режимах работы ЭЭС с большими углами регулирования ФСТ.

### **Литература**

1. **Korab R., Owczarek R.** Impact of phase shifting transformers on cross-border power flows in the Central and Eastern Europe region. Bulletin of the Polish Academy of Science, Technical Sciences, Vol. 64, No. 1, 2016. DOI: 10.1515/bpasts-2016-0014

*Д. А. Аверьянов, аспирант;  
рук. О. Н. Кузнецов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ В ПРОГРАММНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ETAP**

В процессе развития электроэнергетических системы (ЭЭС) отдельные электрические сети соединяются друг с другом межсистемными связями.

При возникновении возмущений возможно отключение межсистемной связи в дефицитной системе начинается снижение частоты, которое при отсутствии вращающегося резерва в энергосистеме может остановить только автоматическая частотная разгрузка (АЧР) [1].

При расчёте переходных процессов, сопровождающихся отключением межсистемных связей и делением ЭЭС на две несинхронно работающие части, большой интерес представляет моделирование работы АЧР. Моделирование АЧР проводилось в ПВК ETAP [2]. В рамках расчёта и функциональных возможностей ПВК срабатывание АЧР моделировалось двумя способами: с помощью внесения действий производимых автоматикой АЧР непосредственно в сценарий переходного процесса и с помощью компаратора, моделируемых в узлах нагрузки, которые отключают нагрузку при падении частоты в узле нагрузки до определённого уровня.

В рамках данного исследования была создана модель энергосистемы Крыма и Кубанской ЭС. Для проведения расчётов была выбрана именно эта часть ЭЭС России, так как крымская энергосистема является дефицитной и получает значительные объёмы ЭЭ через Крымский Энергомост.

В результате расчётов было определено, что при выполнении расчёта обоими способами получается одинаковый результат расчёта. Это означает, что при корректной настройке счётчиков результат не меняется по причине того, что отключение нагрузок компараторами полностью совпадает по времени со сценарием, составленным вручную. Применение компараторов позволит упростить написание сценария для задания исследуемых переходных процессов.

Полученные результаты могут быть применимы для более точного моделирования в ПВК ETAP различных переходных режимов, которые сопровождаются падением частоты в системе.

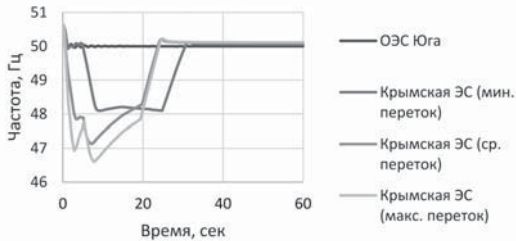
### **Литература**

1. **О. П. Алексеев, В. Л. Козис, В. В. Кривенков и др.**; Автоматизация электроэнергетических систем: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. П. Морозкина и Д. Энгелле. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 448 с.: ил. ISBN 5-283-01105-4
2. **ETAP 19.0 User Guide**, Operation Technology, Inc., registered to ISO 9001:2015, certification No. 10002889 QM 15, February 2019.

*Д. А. Аверьянов, аспирант;  
рук. О. Н. Кузнецов, к. т. н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕТОКА ПО МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ НА УСТОЙЧИВУЮ РАБОТУ ДЕФИЦИТНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

При развитии электроэнергетической системы (ЭЭС) возникает необходимость создавать сильные межсистемные связи, соединяющие избыточные энергосистемы с дефицитными. Эти межсистемные связи являются наиболее значимыми источниками ЭЭ для дефицитных энергосистем.



**Рис. 1.** Зависимость предельного времени отключения КЗ от доли асинхронной нагрузки

В нашем исследовании рассматривались возмущения, приводящие к отключению всех линий межсистемной связи и срабатыванию автоматической частотной разгрузки (АЧР) [1].

Моделирование энергосистем проводилось в ПВК ЕТАР [2]. В рамках этого исследования были рассмотрены Крымская и Кубанская ЭС, так как крымская энергосистема является дефицитной и получает значительные объёмы ЭЭ через межсистемную связь от Кубанской ЭС.

В рамках расчёта рассматривалось отключение межсистемной связи при различных режимах ее загрузки. Результатом расчёта являются зависимости, представленные на рисунке 1.

Полученные результаты могут быть применимы при проектировании электрических сетей и планировании режимов ЭЭС.

Полученные результаты могут быть применимы при проектировании электрических сетей и планировании режимов ЭЭС.

### Литература

1. **О. П. Алексеев, В. Л. Козис, В. В. Кривенков и др.;** Автоматизация электроэнергетических систем: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. П. Морозкина и Д. Энгелле. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 448 с.: ил. ISBN 5-283-01105-4
2. **ЕТАР 19.0 User Guide,** Operation Technology, Inc., registered to ISO 9001:2015, certification No. 10002889 QM 15, February 2019.

*О. С. Орлов, студ.; рук. Р. Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЯ, ПИТАЮЩЕГО ЧАСТОТНЫЙ ПРИВОД АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

За последние годы все большее распространение получает полупроводниковая техника. Она применяется для решения разных задач. Например, для плавного регулирования скорости асинхронного двигателя (АД) используется частотный преобразователь электронного типа. Он служит для преобразования трёхфазного или однофазного переменного тока частотой 50 (60) Гц в аналогичный ток частотой от 1 Гц до 800 Гц [1]. Конструктивно устройство состоит из выпрямителя (моста постоянного тока), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный требуемой частоты и амплитуды [1]. Как следствие, при питании двигателей с частотными преобразователями возникают супергармоники тока частотой от 9 кГц до 150 кГц.

На сегодняшний день влияние супергармоник тока на нагрев кабельных линий не учитывается при выборе их сечения. В связи с этим, цель данной работы заключается в исследовании целесообразности учета влияния супергармоник тока при выборе сечения кабельной линии, питающей АД с частотным преобразователем.

В рамках проведенного исследования было выполнено:

1. Определение метода измерения супергармоник тока в кабельной линии;
2. Создание математической модели сети, состоящей из источника питания, кабельной линии, частотного преобразователя и АД;
3. Определение влияния супергармоник тока на нагрев кабеля;
4. Идентификация влияния супергармоник тока на тангенс угла диэлектрических потерь;
5. Определение целесообразности учета влияния супергармоник тока при выборе сечения кабельной линии.

Измерения проводились в учебной лаборатории. С помощью метода быстрого преобразования Фурье (БПФ) был получен спектр тока. Расчёт действующего значения тока производился с учетом супергармоник. Для верификации полученных значений была разработана математическая модель участка сети в среде программирования MATLAB.

Полученные коэффициенты могут использоваться при выборе сечения кабеля, питающего АД с частотным преобразователем.

### **Литература**

1. **Частотный преобразователь (электропривод)** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>, свободный — (07.11.2020).

*Д. В. Сютлов, О. Д. Архангельский;  
рук. А. А. Волошин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Энергетическая безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности Российской Федерации. Увеличение количества автоматизированных систем управления (АСУ) на объектах электроэнергетики существенно повышает актуальность вопросов обеспечения кибербезопасности, надежности и устойчивого функционирования программного обеспечения (ПО) таких систем. Кибератаки на объекты ЭЭС и отказы ПО могут привести к нарушению работы не только АСУ и вторичного интеллектуального оборудования, но и первичного оборудования станций и подстанций [1].

Поскольку качество программной части и уровень защищенности интеллектуальных устройств непосредственно влияют на надёжность и устойчивость их функционирования [2], предлагается проводить комплексную оценку безопасности АСУ энергообъекта, включающую в себя оценку рисков нарушения функционирования АСУ и оценку программной надежности.

Усложнение и взаимная интеграция информационных и автоматизированных систем не позволяют проанализировать все возможные последствия кибератак и отказов аналитическими методами. Для решения этой задачи авторами предложена полунатурная модель, включающая в себя вычислительный комплекс RTDS, устройства РЗА, оборудование и программное обеспечение АСУ энергообъектов, что позволяет проводить исследования с учетом динамических изменений в системе.

Предложенный авторами подход позволяет рассчитать и проанализировать возможные последствия кибератак и отказов на объекты электроэнергетики. Результаты расчетов могут быть использованы для принятия управленческих решений: корректный и своевременный выбор мероприятий по управлению выявленными рисками позволяет обеспечить надежность и безопасность как отдельных объектов электроэнергетики, так и ЭЭС в целом.

### **Литература**

1. **Карантаев В. Г., Карпенко В. И.** Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики вследствие кибератак / *Connect* 2020 г. / № 1–2 11–12 стр.
2. **Плешко Д. Ю.** Влияние кибербезопасности объектов электроэнергетики на надежность функционирования ЭЭС // *Актуальные проблемы энергетики*, 2017

*В. Р. Рафиков, студ.; рук. И. Е. Иванов, к.т.н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПО РЕАЛЬНЫМ АРХИВАМ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ**

Одной из важнейших задач, решаемых с использованием технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ), является определение фактических параметров схем замещения элементов электроэнергетической системы (ЭЭС) по данным установившегося или переходного режима ЭЭС. Установка устройств СВИ на крупных генераторах [1] позволяет накопить большой массив измерений для различных схемно-режимных ситуаций на электростанции и прилегающем к ней участке электрической сети. Идентификация параметров синхронного генератора (СГ) на базе архива замеров токов и напряжений в установившихся режимах (УР) предполагает актуализацию значений синхронных сопротивлений СГ и их использование в алгоритмах автоматизированного расчета и управления ЭЭС.

Целью исследования является разработка методов идентификации фактических параметров синхронных турбо- (ТГ) и гидрогенераторов (ГГ) по данным реальных массивов СВИ, зафиксированных в серии УР ЭЭС. В качестве метода исследования используется математическое моделирование в программном комплексе *MATLAB* с последующей верификацией алгоритмов на реальных архивах СВИ.

Этапы выполненной работы можно кратко описать следующим образом:

- разработаны методы определения синхронных сопротивлений ТГ и ГГ по данным УР, зафиксированных устройствами СВИ, с учетом систематических и случайных ошибок измерений;
- проведена серия вычислительных экспериментов, позволившая установить наилучший способ формулировки задачи линейной регрессии для идентификации синхронного сопротивления ТГ;
- осуществлены испытания разработанного способа с привлечением реальных архивов СВИ, соответствующих десяти различным квазиустановившимся режимам, и выяснено, что полученная по СВИ оценка сопротивления ТГ не отличается от соответствующего «условно-эталонного» (паспортного) значения более чем на 0,5%.

Результаты исследования свидетельствуют о возможности верификации синхронных сопротивлений СГ на основе реальных данных СВИ.

### **Литература**

1. **СТО 59012820.29020.001-2019** «Релейная защита и автоматика. Системы мониторинга переходных режимов. Нормы и требования».

*А. Ю. Старкова, студ.; рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА «СИСТЕМА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»**

Надежность элементов воздушной линии электропередачи (ВЛ) зависит от наличия или отсутствия в них неисправностей, поэтому необходимо проводить контроль состояния опор, проводов, тросов и изолирующих подвесов. В настоящее время осмотр ВЛ в подавляющем большинстве случаев проводится непосредственно работниками электросетевого комплекса с последующим занесением результатов в листок осмотра.

Анализ отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 110–220 кВ за период 2014–2019 г. выявил, что в среднем 6,6% отключений происходят по причине неучета или некорректного учета дефектов ВЛ. При этом использование индекса технического состояния (ИТС) не всегда позволяет (при равных ИТС) определить приоритетный для ремонта элемент сети.

Аппаратно-программный комплекс «Система оценки надежности воздушных линий электропередачи» позволит учитывать фактическое техническое состояние элементов ВЛ для определения показателей надежности линии. Для возможности учета неисправностей элементов ВЛ требуется создание цифрового двойника линии на базе системы автоматизированного проектирования. При отображении имеющихся дефектов на цифровом двойнике становится возможным расчет влияния механических нагрузок и оценка надежности элемента.

Разработка аппаратно-программного комплекса включает в себя создание пользовательского интерфейса (приложения для планшетного компьютера), позволяющего заносить результаты осмотров ВЛ непосредственно в сам программный комплекс, формируя актуальную расчетную модель сети. Преимуществом такого сбора информации является отсутствие усложнения работы оперативного персонала.

Введение в эксплуатацию разрабатываемого аппаратно-программного комплекса не требует дополнительных затрат электросетевых компаний и позволит создать актуальную модель ВЛ, оценить ее надежность, оптимизировать затраты на ремонт оборудования.

### **Литература**

1. **Крюков К. П., Новгородцев Б. П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л., «Энергия», 1970.
2. **РД 34.20.504–94.** Типовая инструкция по эксплуатации линий электропередачи напряжением 35–800 кВ. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003.

*А. А. Назаров, соиск.; рук. В. П. Кавченков, д.т.н., проф.  
(Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА СХЕМНО-РЕЖИМНОЙ ЗНАЧИМОСТИ**

При ограниченных финансовых возможностях, в энергосистеме возникает вопрос о приоритете ликвидации (реконструкции) одних проблемных мест перед другими, при этом важно оценить последствия аварийного отключения элемента, подлежащего реконструкции, для параметров режима [1, 3]. Аварийное отключение некоторых элементов может привести к наиболее серьезным сетевым ограничениям и выходу параметров электроэнергетического режима за пределы допустимых значений. При этом применение превентивных режимных мероприятий, для недопущения таких последствий по критерию n-1, значительно снижает технико-экономические показатели (ТЭП) энергосистемы (ЭЭС). Именно такие элементы должны иметь приоритет в реконструкции.

Для количественной оценки значимости элемента для режима работы ЭЭС и ТЭП авторами предлагается методика с использованием показателя схемно-режимной значимости (СРЗ) элемента. Он включает в себя как характеристику последствий тяжести аварийного отключения элемента, так и характеристику влияния схемно-режимных мероприятий на ТЭП ЭЭС, которые определяют службы диспетчерских центров на основе расчета электрического режима по критерию n-1 в нормальных и основных ремонтных схемах. Для их сравнение по степени воздействия на режимы и ТЭП ЭЭС предложено использовать метод анализа иерархий [2].

В методике показатели индивидуальной надежности и значимости для ЭЭС элементов, приводятся к единой шкале измерений [1, 3]. В итоге вычисляется интегральный индекс приоритетности реконструкции элемента, и предлагаются рекомендуемые виды технического воздействия на него и окружающую сеть.

### **Литература**

1. **Назаров А. А., Кавченков В. П.** Разработка методики оценки надежности и приоритетности ремонтов в региональной энергосистеме с учетом возможного риска. — М.: «Электроэнергия. Передача и распределение», 2020, № 3, с. 50–57.
2. **Саати Т., Керис К.** Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. — М.: Радио и связь. 1991. — 224 с.
3. **Kavchenkov V. P., Nazarov A. A.** Assessment of the electric power system elements reconstruction priority taking into account mode reliability. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, 2020.



*О. Ю. Сигитов, асп.;*  
*рук. Н. Ш. Чемборисова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ВЕТРОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ**

В связи с развитием ветровых электростанций (ВЭС), в частности в объединенной энергосистеме Юга (ОЭС Юга), возникает задача определения основных режимов работы ВЭС для расчета установившихся режимов (УР) электроэнергетических систем (ЭЭС). Традиционно при расчете УР ЭЭС мощность генерации принимается постоянной. Однако переменная генерация ВЭС будет оказывать различное влияние на параметры режима в соответствии с изменением мощности ВЭС.

По этой причине режимы работы ВЭС предлагается определять по закономерности изменения скорости ветра (и как следствие мощности ВЭС) в течение периода времени. Как способ определения закономерностей используется среднеквадратичное отклонения скорости ветра в выбранных интервалах скорости ветра (0–1; 1–2; 2–3; и т. д.). Закономерности особенно проявляются в местах с преобладающими «местными» ветрами (бризы, горно-долинные ветры, фёны и т. д.) [1]. По значениям преобладающих интервалов скорости ветра определяются наиболее продолжительные по времени режимы работы ВЭС ( $0,1P_{\text{уст.вэс}}$ ,  $0,2P_{\text{уст.вэс}}$ ,  $0,3P_{\text{уст.вэс}}$  и т. д.), при которых проводятся расчеты УР ЭЭС.

При этом эффективный выбор установленной мощности ВЭС и их мест установки в узлах ЭЭС позволяет снизить потери мощности и напряжения в электрической сети [2]. Снижение потерь достигается за счет близкого расположения источников генерации к потребителям, вследствие чего снижаются перетоки мощности по передающим с традиционных электростанций электрическим сетям. Так как ВЭС подключаются непосредственно в узлах нагрузки, происходит снижение потерь напряжения, что приводит к положительному эффекту при регулировании и поддержании требуемых уровней напряжения электрической сети.

Предлагаемый подход обеспечивает учет переменных режимов работы ВЭС при расчете УР ЭЭС и находит применение при управлении и планировании режимов ЭЭС, направленных на организацию более экономичного с точки зрения снижения потерь в сети режима.

### **Литература**

1. **А. Г. Васьков, Г. В. Дерюгина, Н. К. Малинин, Р. В. Пугачев.** «Ветроэнергетика: учебное пособие». Издательство МЭИ, 2016.
2. **Федоров В. К.** Влияние распределенной генерации на потери мощности и качество электрической энергии / В. К. Федоров, Е. Н. Леонов, Д. В. Федоров // Омский научный вестник. — 2016 — № 6 (150) — С. 72–76.

**Секция 53**  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**  
**Power supply**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., доцент Шведов Галактион Владимирович*

*Секретарь секции: Королева Елизавета Сергеевна*

*М. М. Сергеева, студ.; А. И. Зуев, асп.;  
рук. Д. Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

Настоящий доклад посвящен одному из наиболее важных вопросов современной энергетики, а именно — обеспечению надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей. На сегодняшний день режимы работы электрических сетей в ряде развивающихся регионов страны обусловлены опережающим ростом электропотребления, связанным как с увеличением объемов производства отдельных потребителей, так и с подключением новых потребителей к существующей электрической сети. Это обстоятельство приводит к увеличению нагрузки элементов системы передачи и распределения электроэнергии, что является причиной их перегрузки и приводит к аварийному отключению [1].

Предлагаемое устройство позволит временно повысить пропускную способность силового трансформатора путем его временной эксплуатации в условиях утяжеленного режима работы с максимально допустимой температурой нагрева токопроводящей части вводов, в том числе в предельном режиме по условиям прочности изоляции и допустимой температуры по условию нагрева основных его частей.

Устройство отличается тем, что содержит блок учета параметров силового трансформатора, с помощью которого рассчитываются допустимые параметры его тепловой нагрузки для дальнейшего формирования максимально эффективной уставки наибольшего рабочего тока. Фактическое значение температуры токопроводящей части вводов силового трансформатора, измеренное в токовом эквиваленте посредством установленного датчика тока, поступает на компаратор и сравнивается со значением уставки, заданной блоком учета параметров трансформатора. При достижении значения температуры токопроводящей части вводов силового трансформатора равного заданной уставке, срабатывает контактор и подает управляющий сигнал на цифровую систему управления с целью автоматизированного снижения значения напряжения для разрешения кратковременной работы силового трансформатора в условиях перегрузок.

### **Литература**

1. **Удинцев Д. Н., Шведов Г. В., Милованов П. К.** Предотвращение развития аварийных ситуаций в электроэнергетической системе за счет гибкого регулирования потребления электроэнергии. Печатный. Электроэнергия. Передача и распределение. — 2019. — № 5 (56). С. 58–64.

Д. С. Золин, асп.; рук. Е. Н. Рыжкова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОДХОД К ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

В данной работе произведена систематизация методов управления потреблением электроэнергии, и получена оценка эффективности совокупного и распределенного подхода к их применению в электросетях различного уровня.

Определены основные методы осуществления управления потреблением (табл. 1) [1].

**Таблица 1.** Подходы метода управления графиком нагрузки в интеллектуальных электросетях

Снижение пика нагрузки	Заполнение провалов нагрузки	Распределение графика нагрузки
		
Контроль формы графика нагрузки	Планирование роста графика нагрузки	Стратегическое сохранение потребления
		

Основной целью метода управления потреблением электроэнергии является снижение разницы между кривыми потребления нагрузки — реальной и оптимальной (1) [2]:

$$\sum_{t=1}^N (P_{\text{нагр}}(t) - P_{\text{опт}}(t))^2 \rightarrow 0 \quad (1)$$

где  $P_{\text{опт}}(t)$  — значение оптимального потребления в момент времени  $t$ ;  $P_{\text{нагр}}(t)$  — значение реального потребления в момент времени  $t$ .  $P_{\text{нагр}}(t)$  можно определить в соответствии со следующей формулой (2):

$$P_{\text{нагр}}(t) = P_{\text{прогн}}(t) + P_{\text{подкл}}(t) - P_{\text{откл}}(t) \quad (2)$$

где  $P_{\text{прогн}}(t)$  — прогнозируемое потребление в момент времени  $t$ ;  $P_{\text{подкл}}(t)$  и  $P_{\text{откл}}(t)$  — мощность нагрузки подключенной и отключенной соответственно в момент переключения нагрузки.

### Литература

1. **Eity Sarker, Pobitra Halder, Mehdi Seyedmahmoudian.** Progress on the demand side management in smart grid and optimization approaches // National journal of energy research. John Wiley & Sons Ltd. 26 June 2020.
2. **Thillainathan Logenthiran, Dipti Srinivasan, Tan Zong Shun.** Demand side management in smart grid using heuristic optimization // IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL. 3, NO. 3, SEPTEMBER 2012.

А. А. Варга, студ.; рук. Г. В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ОТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ НА ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

При передаче электроэнергии (ЭЭ) от источника к потребителям часть затрачивается на процессы необходимые для ее транспортировки (в первую очередь — это нагрев проводников под действием электрического тока). Таким образом, потери ЭЭ в электрических сетях неизбежны, и становится актуальной задача определения их рационального или экономически обоснованного уровня.

Для типовой городской распределительной сети номинальным напряжением 10 кВ, состоящей из четырех трансформаторных подстанций с трансформатором ТМГ-630/10 на каждой и кабелями ААБ 3х185 (600 м), ААШв 3х150 (750 м), ААШв 2х95 (550 м), ААШв 3х70 (400 м) на головном и остальных участках соответственно, в программе РАП-10-ст [1] были промоделированы потери ЭЭ при разном отпуске ЭЭ в сеть (рис. 1).

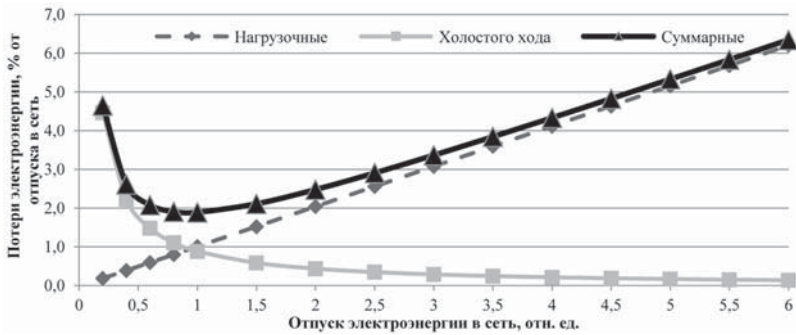


Рис. 1. Зависимость относительных потерь электроэнергии от отпуска электроэнергии в сеть

Из рис. 1 видно, что существует точка, соответствующая такому отпуску ЭЭ, при котором её относительные потери будут минимальны. Значит, с точки зрения оптимизации потерь ЭЭ, нужно стремиться к поддержанию именно такого отпуска ЭЭ в электрическую сеть [2] за счет, например, оптимизации рабочей схемы сети.

### Литература

1. РАП-Стандарт: программный комплекс для расчета, анализа и нормирования потерь электроэнергии в сетях всех напряжений энергоснабжающих организаций [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rap-standart.ru>, свободный. — Загл. с экрана.
2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практ. расчетов. — М.: ЭНАС, 2009. — 456 с.

*Д. В. Держаев, студ.; рук. М. А. Разаков, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

На любой строительной площадке имеется множество потребителей электрической энергии: двигатели электрических машин и механизмов, сварочные устройства, установки технологического прогрева бетона, оборудование для освещения и т. п. Для первичного анализа энергопотребления можно воспользоваться укрупненными показателями и следующей формулой (1), кВт х ч [1–2]:

$$\mathcal{E} = K_3 \times \left( \sum \frac{P_{iy} \times K_i \times C}{\cos \varphi} \times \tau_i + \sum P_{\text{ов/он}} \times K_i \times \tau_i + \sum P_{\text{см}} \times \tau_i \right) \quad (1)$$

где:  $K_3$  — коэффициент, учитывающий потери в сети (находится в диапазоне 1.05–1.1);  $P_{iy}$  — мощность отдельных машин и установок, кВт;  $P_{\text{см}}$  — мощность, требуемая для отдельных видов строительного-монтажных работ, кВт;  $K_i$  — коэффициенты спроса, зависящие от числа потребителей и от степени их загрузки.  $P_{\text{ов/он}}$  — мощность, требуемая для внутреннего/наружного освещения, кВт;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности который, зависящий от характера нагрузки и от числа потребителей;  $\tau_i$  — время работы определенной машины или механизма, потребляющей электрическую энергию, ч.

Для подробного расчета расхода электроэнергии, необходимо иметь календарный график строительства, а также номенклатуру строительных машин и установок, которые разнятся в зависимости от назначения и объема строящегося объекта.

### **Литература**

1. **Титова Ж. О., Разаков М. А., Держаев Д. В.** Особенности энергообеспечения строительной площадки // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции. К.: ООО Конверт, 2020. Ч. 1;
2. **Зайцев В. Е., Нестерова Т. А.** Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок. М.: Академия, 2008;

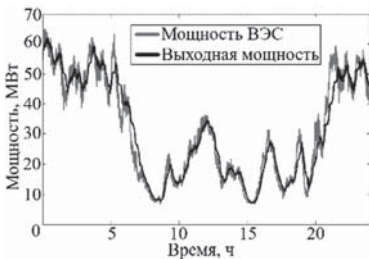
*И. И. Бердышев, М. О. Поляков, студенты;  
рук. Р. В. Булатов, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНОЙ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время в мире и, в частности, в России находят широкое применение возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ), активно внедряется в электрические сети генерация электроэнергии ветряными электростанциями (ВЭС). По данным на 2020 год во всем мире установлено более 650 ГВт ветроэнергетических мощностей [1].

Стохастическая характеристика скорости ветра оказывает влияние на надежность и качество электроэнергии в электрических сетях из-за колебаний мощности. Для сглаживания этих колебаний используют системы накопления энергии (СНЭ), поскольку они работают достаточно надежно и становятся все более эффективными и менее дорогостоящими [2].

Целью данной работы являлась оптимизация выходной мощности ВЭС в системе электроснабжения с использованием аккумуляторной системы накопления энергии по критерию минимизации колебаний выходной мощности. Оптимизация осуществлялась с помощью алгоритма, который отслеживает выходную мощность ВЭС и состояние заряда накопителя, учитывая ограничения, определяемые системой электроснабжения.



**Рис. 1.** График мощности ВЭС и выходной мощности

Результаты работы показывают, что предложенный подход является эффективным (рис. 1), а низкое время вычисления допускает использование алгоритма в реальном времени.

Предложенный алгоритм может использоваться на ВЭС для уменьшения колебаний ее мощности, дополнительными эффектами от использования алгоритма являются снижение необходимой емкости батарей и увеличение их срока службы, что в конечном итоге позволяет уменьшить расходы на СНЭ.

### **Литература**

1. Global Wind Energy Council (GWEC): Global wind report 2019 [Электронный ресурс] URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>. Датаобращения: 08.11.2020
2. P. H. A. Barraa, W. C. de Carvalho, T. S. Menezes, R. A. S. Fernandesc, D. V. Courya, «A review on wind power smoothing using high-power energy storage systems». Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2020

*К. В. Лодяная, студ.; рук. А. Н. Комков, к.т.н., доц.  
(РГУНИГ НИУ им. И. М. Губкина, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СОБСТВЕННОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК КРИТЕРИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ**

В связи с быстрым развитием промышленного оборудования и технологических процессов важное значение имеет устойчивость электротехнических систем как к внутренним, так и ко внешним возмущениям [1], [3]. Следовательно, необходимо особенно тщательно настраивать защиту, устанавливаемую на производстве, для предотвращения несрабатывания при аварийных режимах, а также ложных срабатываниях. В качестве рассматриваемой защиты выбрана защита минимального напряжения. В [2] было получено, что при одноступенчатых провалах напряжения вдоль границы динамической устойчивости значение собственной энергии системы остается практически постоянным. В данной работе было исследовано изменение величины собственной энергии системы вдоль границы динамической устойчивости при провалах напряжения сложной двухступенчатой формы. Были рассмотрены провалы различной длительности и глубины. В результате было получено, что при провалах напряжения любой формы и площади значение собственной энергии вдоль границы динамической устойчивости меняется незначительно. Следовательно, данный параметр можно использовать в качестве критерия динамической устойчивости при установке и настройке устанавливаемой защиты. В связи с этим была составлена простейшая схема защиты, основанная на сравнении значения собственной энергии системы в настоящий момент со средним значением собственной энергии вдоль границы динамической устойчивости — критическим.

### **Литература**

1. **Ершов М. С., Егоров А. В.** Вопросы повышения устойчивости электрической нагрузки промышленных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. — 1994. — № 3.
2. **Ершов М. С., Егоров А. В.** Итоги исследования устойчивости промышленных электротехнических систем с асинхронной двигательной нагрузкой // Территория «Нефтегаз». — 2005. — № 5.
3. **Ершов М. С., Егоров А. В., Трифионов А. А.** Некоторые итоги исследования устойчивости промышленных электротехнических систем // Труды РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. — 2009. — Вып. 3 (256).



*Р. И. Рамазанова;*  
*рук. А. Г. Логачева, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)*

## **ВЫБОР СИЛОВЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ИНВЕРТОРА**

Инвертором в электронике называется устройство для преобразования постоянного тока в переменный. Он выполняет такие функции как синхронизация частоты переключения, защита от перегрузок и тому подобное. В связи со стремлением увеличить КПД устройств большое развитие получили силовые полупроводники.

В данной работе сравнивается IGBT и MOSFET транзисторы.

У IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором) в открытом состоянии рабочий ток проходит через р-n-переход, а у MOSFET — через канал сток-исток. Возможности для рассеяния мощности у этих приборов различаются, соответственно и потери разные: у MOSFET рассеиваемая мощность будет пропорциональна квадрату тока через канал и сопротивлению канала, в то время как у IGBT рассеиваемая мощность окажется пропорциональна напряжению насыщения коллектор-эмиттер и току через канал в первой степени [1, 2].

Недостатком MOSFET являются плохие характеристики обратного восстановления паразитного диода. IGBT имеют превосходные характеристики в проводящем состоянии. Одновременно с этим IGBT сохраняют и многие достоинства, присущие MOSFET: простоту управления, широкую ОБР и очень большой допустимый ток [3].

По скорости переключения и стойкости при перегрузках IGBT уступают MOSFET, хотя внесенные в конструкции и технологии изготовления IGBT за три десятилетия их серийного производства усовершенствования позволили значительно сократить этот разрыв. Работа инвертора на силовых IGBT-модулях с аккумуляторным накопителем энергии показали его высокую надежность как в установившихся, так и переходных режимах [2, 3].

Нельзя однозначно сказать, что в одной типовой ситуации подойдет именно IGBT, а в другой — только MOSFET. Необходимо комплексно подходить к разработке каждого конкретного устройства.

### **Литература**

1. **Горева Л.** IGBT-транзисторы International Rectifier шестого поколения // Силовая электроника, 2009, № 4–29 с.
2. **Шапкенов Б. К., Калиев Б. З., Кайдар А. Б.** Монография «Теория и практика энергетических преобразователей». — Saarbrücken, Germany: Издательство «LAP Lambert Academic Publishing», 2014. — 461 с
3. IGBT Characteristics. [Электронный ресурс] URL: <https://www.infineon.com/>. Дата обращения: 01.11.2020

*А. А. Цветкова, студент;  
рук. А. Н. Цветков, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАСЕЙНА БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

Поддержание температуры воды является одной из важнейших систем обеспечения нормального функционирования плавательного бассейна. От температуры воды зависит уровень комфорта спортсмена и его тепловой режим [1].

Традиционно температура воды поддерживается с помощью теплообменников и регуляторов, обеспечивающих требуемый уровень температуры на выходе из теплообменника, что ни каким образом не коррелируется с температурой воды в бассейне. При этом приходится постоянно менять режим работы регулятора теплообменника путем изменения уставки температуры воды на выходе. В итоге получается разброс температуры воды в бассейне на 2...3 градуса Цельсия [2].

Объем воды плавательного бассейна составляет 2000 м<sup>3</sup>, поэтому процесс регулирования является достаточно инерционным, реализованный в системе управления цифровой регулятор обеспечивает поддержание температуры бассейна с периодичностью обновления выходного сигнала в 30 минут, что является вполне достаточным при определенной величине коэффициентов.

Процесс регулирования заключается в измерении температуры воды в бассейне, сравнении ее с заданной температурой и вычислении требуемой температуры на выходе из теплообменника с применением цифрового ПИД-регулятора.

Процесс изменения температуры воды бассейна зависит от многих факторов, например, от температуры воздуха, на улице и др., поэтому регулятор практически постоянно находится в работе. Применение ПИД — регулятора позволяет стабилизировать процесс отклонения температуры от заданной в пределах 0,5 градуса Цельсия.

### **Литература**

1. **Малёв Н. А., Погодицкий О. В., Цветков А. Н.** Синтез и реализация цифрового регулятора высокого порядка на программируемом логическом контроллере. В сборнике: Труды IX международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2016. 2016. С. 187–190.
2. **Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Гайнатуллин Р. Р., Латыпов Д. Н., Хафизова А. И.** Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами. Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57–61.

*Д. С. Репьев, Д. В. Казаков, аспиранты; рук. В. А. Агеев, к.т.н., доц.  
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», Саранск)*

## **ПОДХОД К АВТОМАТИЧЕСКОМУ СОСТАВЛЕНИЮ БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ**

Обосновывающие материалы технологических потерь электроэнергии в электрических сетях содержат данные о показателях баланса электрической энергии в целом по электрическим сетям и структуру баланса по уровням напряжения, структуру перетоков мощности и электрической энергии и т. д.

Определение перечисленных выше данных может быть выполнено на основе результатов расчета установившегося режима электрических сетей. Однако, при анализе данных о балансах мощности недостаточно знать только принадлежность элемента сети к структурному подразделению, а требуется определить линии электропередачи, соединяющие смежные структурные подразделения и являющиеся линиями связи. Для этого предлагается специализированный алгоритм автоматического составления балансов мощностей, позволяющий выполнить поиск линий связи между отдельными структурными подразделениями с учетом направления перетоков мощности, определить значения входящей и исходящей мощностей, потерь электрической энергии, генерируемой мощности и мощности нагрузки.

Реализация алгоритма выполнена на базе существующего программного комплекса для расчета режимов электрических сетей [1]. Программный комплекс позволяет выполнять ввод схемы электрических сетей в специальном графическом редакторе, редактировать параметры каждого элемента схемы, выполнять расчеты режима, просматривать и экспортировать результаты расчетов.

Проведенные исследования предложенного алгоритма на тестовой схеме, содержащей 38 трансформаторных подстанций на напряжение 35 кВ и 110 кВ, относящихся к 12 структурным подразделениям, показали возможность его применения для автоматического составления балансов мощностей в целом по рассматриваемому структурному подразделению и по уровням напряжения. Полученные результаты могут быть использованы при расчете и обосновании технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.

### **Литература**

1. **Волгушев П. А., Бурнаев А. И., Агеев В. А., Душутин К. А.** Подход к анализу балансов мощностей с применением программного комплекса // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники II Всероссийская научно-практическая конференция: сборник трудов. Казань. 2020. С. 31–37.

*А. Ю. Герасимюк, Н. В. Смоковенко, студенты;  
рук. Р. Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В ИСКАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ ФОРМЫ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

В настоящее время увеличивается разнообразие используемых электроприемников в распределительных сетях, что влечет за собой снижение надежности функционирования сети в целом за счет ухудшения показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Многие потребители содержат электроприемники, обладающие нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) [2]. Это негативно сказывается на качестве электроэнергии, в том числе и на рассматриваемом в работе явлении — синусоидальность токов и напряжений.

В данный момент не существует полноценной методики оценки фактического вклада потребителей в искажение режимных параметров существующей сети. В связи с этим в данной работе был разработан подход к оценке фактического вклада конкретного потребителя в суммарный показатель качества электроэнергии. [1, 3].

В ходе исследования создается имитационная модель сети. Она представляет собой элементарную схему, состоящую из источника напряжения, трансформатора и двух нелинейных потребителей, подключенных параллельно. В последующих этапах производится расчет модели для нахождения исходных данных, которым соответствуют токи во всех ветвях сети и напряжение в точке общего присоединения потребителей (ТОП). Основной задачей в создании подхода является восстановление ВАХ по режимным параметрам сети, которые в последствие можно использовать для определения фактического вклада каждого электроприемника в искажение синусоидальности формы кривой напряжения.

В результате исследования были выявлены ограничения для использования этого подхода в оценке фактического вклада и подтверждена возможность его применения на схемах реальной сети.

### **Литература**

1. **И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов, Ю. В. Шаров, Р. Р. Насыров** Управление качеством электроэнергии. АО «Издательский дом МЭИ», 2017.
2. **Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Негушил, С. В. Страхов** Основы теории цепей. Энергоатомиздат, 1989
3. **ГОСТ 32144–2013** Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

**Секция 54**  
**ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**  
**History of energy**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

*М. М. Сергеева, студ.; А. А. Самойлов, студ.;  
рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЕЛ-1: ИСТОРИЯ САМОГО ПОПУЛЯРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

Бурное развитие промышленности в начале 20-го века повлекло за собой быстрый темп электрификации стратегически важных отраслей страны. Вклад в развитие теории электрических машин, сделанный в довоенные и послевоенные годы такими советскими учеными, как А. И. Вольдек, А. Н. Ларионов, Л. М. Пиотровский и другие, позволил повсеместно и эффективно использовать электрические машины и аппараты в промышленности, транспорте и быту советских граждан [1].

Быстро нарастающий темп эксплуатации электрических машин обусловил необходимость поддержания их качественной и надежной работы с помощью инновационных устройств. Одной из задач, стоявших перед эксплуатирующими организациями того времени, стало нахождение простого и точного метода обнаружения неисправностей в обмотках электрических машин и аппаратов.

23 сентября 1950 года в Гостехнику СССР от советских инженеров Смирнова М. В. и Мажуга В. Д. поступила заявка на патент на изобретение устройства для испытания витковой и корпусной изоляции электрических машин и аппаратов, а также для проверки правильности схемы соединения обмоток [2]. Испытания предложенной конструкции прошли успешно, поэтому уже в 1959 году киевским заводом РЕЛЕ и АВТОМАТИКА данное устройство было запущено в серийное производство под кратким названием ЕЛ-1. Схема данного аппарата состояла из трех узлов: генератора импульсов, блока развертки луча и синхронизации лучевой трубки, высоковольтного источника питания трубки [3]. Питание прибора производится от сети переменного тока напряжением (118–127); (205–220) В, а потребляемая мощность составила порядка 80 Вт.

На сегодняшний день существует несколько модификаций данного устройства, последний из них — аппарат типа ЕЛ-15. Устройство не теряет своей актуальности ввиду универсальной конструкции даже спустя 50 лет.

### **Литература**

1. **Кацман М. М.** Электрические машины и трансформаторы. — М.: 1971, с. 9–12
2. Описание изобретения «Устройство для испытания витковой и корпусной изоляции электрических машин и аппаратов, а также для проверки правильности схемы соединения обмоток» № 4105 435080 от 23.09.1950 // Гостехника СССР **М. В. Смирнов, В. Д. Мажуга**
3. Завод РЕЛЕ и АВТОМАТИКА, «Аппарат для обнаружения витковых замыканий и других дефектов в обмотках электрических машин и аппаратов типа ЕЛ-1», Киев, 1965 г.

*М. Р. Бурлаченко, студ.;  
рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ВАГОНОВ МЕТРО ДК-104-В И ЕГО РОЛЬ В ИСТОРИИ МЕТРОПОЛИТЕНА**

С момента открытия московского метро в 1935 году его пассажиропоток увеличивался с каждым годом, что неизбежно требовало модернизации пассажирских составов и тягового оборудования. Основным вектором развития было уменьшение массы как вагонов, так и двигателей постоянного тока, устанавливаемых на колёсные пары. Эти изменения улучшили показатели разгона и максимальной скорости составов тем самым существенно увеличив пассажиропоток.

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика электродвигателей различных серий выпуска

Модель вагонов	Год выпуска	Средняя масса вагона, т.	Тип Асинхронного двигателя	Номинальная мощность, кВт	Масса двигателя, кг	Ускорение, м/с <sup>2</sup>
А	1935	51,7	ДМП-151	151	2340	0,65–0,7
Г	1946	43,7	ДК-102-Г	83	1490	1
Д	1955	36,2	ДК-104Д	73	700	1
Е, Е <sub>чс</sub>	1963, 1973	32,5	ДК-108А, ДК-116А	68/72	630	1,1 (1,2)
Е <sub>ир</sub> , Е <sub>ирр</sub>	1972, 1975	32,5	ДК-108А	68	630	1,1

Двигатель постоянного тока ДК-104-В принадлежит серии двигателей ДК-104 производимых на заводе «Динамо» (закрыт в связи с банкротством в 2015 г.) с 1955 года и устанавливался на вагоны типа «Д» используемых метрополитеном города Москвы вплоть до 1995 года. Его отличительной особенностью можно выделить уменьшение массы: более чем в 3 раза по сравнению с первой серией «А» и в 2 раза со второй серией «Г» [1]. Также прослеживается улучшение динамических показателей и изменение требований к мощности двигателей в сторону уменьшения. Объясняется это снижением массы вагонов и изменением способа установки двигателя на колёсную пару [2].

### **Литература**

1. **Э. А. Сементовский, А. А. Богданов, В. С. Гусев, Ю. Я. Могильнер;** Под ред. Э. А. Сементовского.; Устройство и ремонт электропоездов метрополитена: Учебник для ПТУ М.: Транспорт, 1991, 335 с.
2. **Г. В. Фёдоров, С. М. Мизиков, Д. В. Сергеев;** Подвижной состав метрополитена: Вагоны типа Д; «Трансжелдориздат», 252 с, 1957.

*Д. А. Солныков, студ.;*  
*рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **УМФОРМЕР. ЗАБЫТАЯ СТРАНИЦА В ИСТОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

С конца XIX века для преобразования постоянного напряжения в переменное использовались конструкции из электрических машин. В их состав входил электродвигатель постоянного тока и генератор переменного напряжения. Умформер же совмещал в себе свойства несколько электрических машин и давал возможность преобразовывать постоянный ток в постоянный или переменный и наоборот.

Умформерами называют электрические машины, преобразующие постоянный ток низкого напряжения, потребляемый от аккумуляторов, в постоянный ток высокого напряжения, используемый для питания анодных цепей радиопередатчиков, радиоприёмников и усилителей. В зависимости от схемы умформеры дают одно или несколько напряжений [1].

Внешний вид: станина цилиндрической формы с выступающей рамой по торцам и двумя ларами в основании для установки и закрепления. Приведённый в исследовании умформер представляет собой одноякорный преобразователь. Обмотка якоря выведена на контактные кольца и коллектор, откуда ток снимается медными щётками. Магнитная система двухполюсная. Выступающий конец вала предназначен для проворачивания якоря рукой в случае длительного перерыва в работе.

Умформеры широко использовались в технике СССР вплоть до 1970-х годов [2]. В военной технике, работавшей от собственного 400-герцового генератора, в системах электрического питания ЭВМ первого поколения. умформер ставили в месте стационарной установки, чтобы запитать от промышленной сети.

Со своей роли преобразователей тока умформеры были вытеснены принципиально новыми устройствами из полупроводниковых диодов, тиристоров и транзисторов. Развитие получили только динамоторы, вид умформеров, служащий главным образом, для преобразования постоянного тока в переменный. Они до сих пор применяются в железнодорожном транспорте для питания бытовой техники в вагонах.

### **Литература**

1. **Михайлов В. А.**; Радио, ежемесячный научно-популярный радиотехнический журнал, ред. Н. А. Байкузов, № 6, июнь 1948 г. Москва.
2. **Андреевский А. Ю., Воскресенский Ю. Е., Доброленский Ю. П.** и др.; Авиационное оборудование, М., Воениздат, 1989.



*И. И. Бердышев, студ.;*  
*рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ТЕРМОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР УГМ-80 И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

Сороковые-пятидесятые годы XX века ознаменовались рядом научных исследований и инженерно-технических разработок, основной целью которых было введение в арсенал современной энергетики принципиально новых методов получения электроэнергии. Одним из таких методов является термоэлектрический метод преобразования. Возможность создания автономных, компактных, надежных и достаточно эффективных источников питания привлекает внимание и интерес широкого круга инженеров и энергетиков. Диапазон применения термоэлектрических источников питания достаточно велик: от энергоснабжения автоматических метеорологических станций, гидрографических и морских буев до обеспечения энергией космических аппаратов [1].

При реализации ряда новаторских технологических и конструкторских решений во Всесоюзном научно-исследовательском институте источников тока (на данный момент АО «НПП Квант») были разработаны и внедрены в серийное производство новые термогенераторы (ТЭГ) типа УГМ-80, работающие на природном газе. Они использовались в качестве автономных источников электропитания для радиорелейных линий магистральных трубопроводов в районах Крайнего Севера, Сибири, в труднодоступных районах центра России и пустынях Средней Азии [2].

В результате длительных испытаний опытных партий ТЭГ в различных климатических зонах была отмечена необходимость и возможность дальнейшего совершенствования конструкций ТЭГ: использование в них тепла отработанных газов для обогрева помещений, улучшение к.п.д., обеспечение автоматического управления и т. д. [3].

Опыт работ над термогенератором УГМ-80 в дальнейшем послужил основой для создания более эффективных и мощных термоэлектрических генераторов типа УГМ-80 М, УГМ-200.

### **Литература**

1. **Е. К. Иорданишвили.** Термоэлектрические источники питания. Изд-во «Советское радио», 1968, 184 с.
2. **А. Я. Терекоев.** Вклад члена-корреспондента РАН Н.С. Лидоренко в развитие термоэлектричества в России. 2016.
3. **А. Н. Крошко.** Источники тока в системах связи магистральных трубопроводов. — М.: Недра, 1974. — 136 с.: ил. — Библиогр.: с. 135.

*П. А. Букина, студ.; рук. В. Н. Тульский к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РОЛЬ ТРАНСФОРМАТОРА ТГ-1320 В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ**

Освещение современных городов представляет собой совокупность целого ряда элементов, взаимосвязанных между собой. Оно имеет как утилитарное значение, обеспечивая видимость для пешеходов и транспорта, так и художественно-эстетическое [1]. Около столетия назад началась история развития наружного освещения нашей страны.

В 30-е годы двадцатого столетия появляется первая в СССР газосветная установка. Наибольшее распространение получают люминесцентные лампы высокого напряжения (высоковольтные газосветные трубки), а также применяются лампы накаливания как в прозрачных, так и в окрашенных в различные цвета колбах [1]. Вторые по сравнению с первыми обладают рядом преимуществ. Одной из особенностей газосветных трубок является необходимость высокого напряжения для зажигания трубки [2]. В связи с этим возникает потребность в производстве специальных источников питания. Примером подходящего устройства служит трансформатор ТГ-1320.

ТГ-1320 работает в режиме, близком к режиму короткого замыкания. Устройство состоит из магнитопровода, первичной и вторичной обмоток, магнитных шунтов, металлического кожуха, клемм низкого и высокого напряжения и паспортной таблички. Данный тип рассчитан на напряжение сети переменного тока 120 или 220 В, 50 Гц [3]. Завод-изготовитель данной модели неизвестен. Есть основание полагать, что ТГ-1320 изготавливали только на заказ.

Развитие технологий многократно увеличило возможности, связанные с наружным освещением. Источники питания изменялись так же, как и осветительные приборы. В наши дни электроснабжение установки наружного освещения получают, как правило, от трансформаторов, предназначенных для питания сети общего пользования. Сегодняшние трансформаторы, подключаемые к отдельным устройствам освещения, имеют значительно меньшие габариты за счёт повышенных частот, на которых они работают.

### **Литература**

1. **Ашкенази Г. И.** Цвет в природе и технике. Энергия, 1974
2. **Лоренцсон И. Г.** Декоративное освещение. Государственное издательство. 1933
3. **Ванаев С. Н.** Трансформатор газосветный ТГ-1320. 1951

*Н. О. Ключко, студ.; рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КАРМАННЫЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТР «КИД-1»**

В 1945 году, после взрыва ядерного оружия в Нагасаки и Хиросиме, было принято экстренное решение по созданию атомной бомбы в СССР. Все силы ученых и ресурсы были направлены на создание оружия. Идея использовать столь разрушительную энергию в мирных целях возникла в тот же год у П. Л. Капицы, который предложил использовать ядерные реакции для добычи энергии. Но у СССР были другие приоритеты и данную идею не приняли во внимание. Уже в 1948 году, после успешного создания и испытания атомной бомбы, начались работы по разработке первой атомной электростанции, которая начала свою работу в 1954 году [1].

Радиоактивные вещества представляют угрозу из-за излучения и по этой причине необходимо соблюдать определенные меры безопасности. Когда начались работы по разработке ядерного реактора, то выяснили, что защита, которую применяли в рентгенологии, не подходит из-за того, что в излучении реактора были не только гамма-кванты, но и нейтроны. Ученые были вынуждены сконструировать первый в стране дозиметр [2].

На предприятиях, работающих с радиационными веществами, существует специальная дозиметрическая служба, главной задачей которой является осуществлять контроль радиационной безопасности, используя многочисленные дозиметрические приборы [3].

Индивидуальный дозиметр «КИД-1» предназначен для дозиметрического контроля при рентгеновском и гамма-облучениях. Принцип работы прибора заключается в измерении изменения заряда на конденсаторной камере, в которой под воздействием облучения уменьшается напряжение за счет ионизационных токов. Измеряя напряжение можно определить общую дозу рентгеновского и гамма-излучений, воздействовавших на камеру [4].

### **Литература**

1. **Говердовский А. А.** Первая в мире атомная электростанция: Документы, статьи, воспоминания, фотографии. Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2014.
2. **Асташенков П. Т.** Курчатов. [2-е изд.]. М.: Мол. гвардия, 1968.
3. **Летавет А. А.** Гигиена труда при работе с радиоактивными веществами и излучениями // Действие облучения на организм: доклады советской делегации. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
4. **Черемухин В. А., Михеева Л. И., Голубев Б. П.** Лабораторные работы и описания приборов по дозиметрии ионизирующих излучений. Москва, 1967.

*Е. Е. Пашковская, студ.;  
рук. В. Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПОЛЯРИЗОВАННОЕ РЕЛЕ, ИЛИ ПРИ ЧЕМ ЗДЕСЬ ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕЛЕГРАФА**

Электроэнергия, несомненно, стала спутником человеческого прогресса. И это благо цивилизации под названием электричество — результат слаженной ежегодной работы десятков тысяч агрегатов, специалистов, турбин и двигателей.. На фоне огромных станций и высоковольтных подстанций можно сначала упустить из виду маленькие «коробочки» и «ящики», которые находятся на подстанциях, в специальных шкафах. Но именно релейная защита (те самые релейные шкафы на подстанциях) отвечает за надежность электроснабжения потребителей и сохранность дорогостоящего оборудования при авариях [2].

По одной из версий, первое реле сконструировал и использовал в своей модели телеграфа русский ученый Павел Львович Шиллинг [1]. Используемые первоначально как часть механизма телеграфа реле вскоре доказали свою надежность, и оказались востребованы в сфере электротехники и электроники. Их исключительные свойства способствовали выделению новой сферы электроэнергетики — релейной защиты электроустановок и противоаварийной автоматики.

Советские реле серии РП и серии РПС были сконструированы и запущены в серийное производство на заводе «Красная заря» в начале 50-х годов прошлого столетия.

Имеются основания считать, что прототипами этих реле послужили трофейные крупногабаритные поляризованные реле с системы управления ракетой ФАУ-2 — первой в мире баллистической ракеты дальнего действия, примененной нацистской Германией для бомбардировок Лондона.

В 1949 году в Политехническом музее была открыта выставка «Промышленность средств связи СССР». Для этой выставки Политехническому музею была предоставлена модель поляризованного реле.

В данной работе проведено исследование истории данного реле.

### **Литература**

1. **Шарле Д.;** Хек-трик в матче с Атлантикой (Люди и события в истории электротехники и электросвязи), серия изданий «История электросвязи и радиотехники», вып. 2. М.: Международный центр научно-технической информации (МЦНТИ), 2002 г.
2. **Евсюков А. А.** Учеб. пособие для студентов физ. спец. пед. ин-тов. — М.: Просвещение, 1979. — 248 с, с 207.

**Секция 55**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**  
**Electric power stations**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Гусев Юрий Павлович*

*Секретарь секции: Леонов Николай Викторович*

*В. С. Кузнецов, студ.;*  
*рук. О. С. Мельникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Актуальность исследований определяется тем, что методики расчета изоляции силовых трансформатора устарели. В соответствии с существующими методиками расчета электрической прочности главной изоляции значение пробивной напряженности определяется с помощью эмпирических формул в зависимости от выбранной ширины масляного канала при различных электрических воздействиях. В существующих методиках не учитываются влияния объема трансформаторного масла на пробивную напряженность, статистических характеристик электрической прочности масла, конструктивных особенностей силовых электроэнергетических трансформаторов. Целью данной работы является исследование и совершенствование методов расчета электрической прочности главной изоляции силовых трансформаторов.

Для исследований электрической прочности главной изоляции силовых трансформаторов была построена модель изоляции двухобмоточного трансформатора 110 кВ в программном комплексе ANSYS MAXWELL ELECTRONICS. Данная программа позволяет с высокой точностью воспроизвести реальное распределение напряженности электрического поля внутри стенок бака трансформатора. Построенная модель учитывает особенности конструкции главной изоляции силовых трансформаторов маслобарьерного типа: расстояние между обмотками, расстояние от обмоток до барьеров, емкостных колец и угловых шайб. Для оценки реального распределения напряженности внутри бака трансформатора, были смоделированы следующие воздействия на обмотки трансформатора: рабочее длительно допустимое напряжение, одноминутное напряжение, грозовой импульс. Для одноминутного напряжения и грозового импульса было учтено нелинейное распределение напряжения по обмоткам трансформатора.

В результате исследований было получено распределение напряженности внутри бака силового трансформатора с учетом различных электрических воздействий. На основе полученных значений выполнены расчеты минимальной пробивной напряженности с учетом объема масла в масляных каналах главной изоляции, статистических характеристик электрической прочности масла в различных точках маслобарьерной изоляции трансформатора.

*С. А. Тихов, Л. Б. Кучуберия, студенты;  
рук. Н. Н. Смотров, к. т. н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ**

В настоящее время стоит проблема нехватки мощности оборудования распределительных сетей 6 (10) кВ для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей. Особенно остро эта проблема стоит для новых территорий города Москва. Данная работа посвящена выбору типа накопителя, позволяющего сглаживать графики нагрузки.

В качестве расчетной задачи, был рассмотрен жилищный комплекс с тремя многоквартирными домами и потребляемой мощностью в пиках нагрузки 1.5 МВт. При этом трансформаторная подстанция, питающая этот район, может выдавать только 1.2 МВт, и недостающую мощность было решено покрыть энергией накопителей, предполагаемых к установке в распределительной сети. Чтобы узнать какие именно накопители подойдут для данной задачи, были выбраны несколько параметров, исходя из которых, принималось решение: удельная объемная энергоемкость (без сопутствующих устройств), удельная массовая энергоемкость (без сопутствующих устройств, удельная стоимость строительства, срок службы (лет/кол-во циклов заряд-разряд), удельная мощность (без сопутствующих устройств).

Исходя из параметров и особенностей каждого из вида накопителей, произвели расчет стоимости установки и содержания исходной системы на 280 кВт мощности и сроком эксплуатации 5 лет (или, в нашем случае, 3650 циклов заряд-разряд).

По результатам расчетов были выявлены два наиболее подходящих накопителя. Это натрий-серные аккумуляторы и накопители кинетической энергии (НКЭ).

Провели более подробный анализ, с целью выявления достоинств и недостатков, каждого из накопителей. На основании рабочей температуры и длительности межремонтных интервалов к установке рекомендован накопитель кинетической энергии мощностью 300 кВт.

### **Литература**

1. **НПК Энергетическое оборудование [Электронный ресурс]** // URL: <https://inenergy.ru/info/articles/sravnenie-akkumulyatornykh-sistem-i-ustanovok-na-osnovnetoplivnykh-elementov/> (Дата обращения 05.09.2020)
2. **ИнЭнерджи [Электронный ресурс]** // URL: <https://mig-energo.ru/kineticheskie-nakopiteli-energii/osnovnye-tipy-nakopitelej/> (Дата обращения 07.09.2020)

*А. А. Жолобов, асп.;*  
*рук. О. С. Мельникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛОКОН В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ НА ИСКАЖЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ**

Целью исследований является изучение влияния волокон целлюлозы на электрическое поле в межэлектродном промежутке в зависимости от размера частиц, степени влажности и их геометрического положения в системе, а также влияние выстраивающихся под действием поля мостиков из волокон на напряженность в промежутке.

Методом данного исследования является моделирование электродного промежутка в среде ANSYS Maxwell. Система электродов соответствует ГОСТ 6581-75. На основе модели построены графики напряженности вдоль оси системы электродов и сравнительные графики максимальной напряженности в промежутке для разных волокон (по размеру от 100 мкм до 400 мкм и степени влажности 1% и 6%), их геометрическому положению вдоль оси системы электродов и количеству (моделирование мостиков из волокон) [1].

Результаты моделирования показывают, что волокна целлюлозы приводят к сильному искажению электрического поля в межэлектродном промежутке и значительному увеличению напряженности поля в масляных прослойках между волокнами. Наиболее сильное влияние оказывают увлажненные волокна длиной более 200 мкм. Так для частиц 200 мкм увеличение напряженности достигает 84% относительно средней напряженности 16 кВ/мм, а частиц 400 мкм — 111%. С учетом того, что электрическая прочность чистого трансформаторного масла находится в области 32 кВ/мм, то можно увидеть опасное превышение этого значения, что может привести к пробое диэлектрика и выходу из строя оборудования. Результаты расчёта распределения частиц показывают, что при проведении испытаний трансформаторного масла на пробой в стандартной ячейке слабо учитывается влияние длинных волокон (более 200 мкм) из-за малого объёма масла между электродами. Это приводит к искажению результатов определения электрической прочности масла в действующем оборудовании.

Полученные результаты могут быть использованы для улучшения оценки качества трансформаторного масла, используемого в силовых трансформаторах в качестве изоляции.

### **Литература**

1. Мельникова О. С., Прусаков М. В., Жолобов А. А. Исследование влияния волокон целлюлозы на электрическую прочность трансформаторного масла // Вестник ИГЭУ. — № 4. — Иваново. — 2020. — С. 23–33.

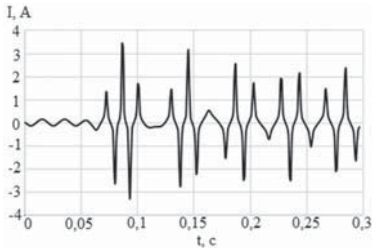


*А. Е. Южанин, Н. В. Леонов, студенты;  
рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФЕРРОРЕЗОНАНСА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Феррорезонанс — явление, для возникновения которого необходима емкость и нелинейная индуктивность. Опасность данного явления заключается в возможном повреждении электромагнитных трансформаторов напряжения (ТН) и в некорректной работе релейных защит.

Целью работы, является создание и верификация расчетной модели процессов феррорезонанса в цепях электроустановок напряжением 6 (10) и 20 кВ с ТН для исследования причин и условий возникновения феррорезонанса, разработки мер по его предотвращению.



**Рис. 1.** Осциллограмма тока в первичной обмотке ТН

Насыщение ТН может возникать, если напряжение на трансформаторе повышается на 20–30% [2]. Причиной такого повышения напряжения в сети может быть однофазное замыкание на землю. Возникающие феррорезонансные субгармонические колебания обуславливают появление сверхтоков, рис. 1, и перенапряжений в первичной обмотке ТН, что может привести к пробое изоляции и межвитковым замыканиям.

Расчетная модель разработана с помощью программы ЕМТР-RV (Powersys, Франция), параметризирована и верифицирована на основе параметров участка распределительной электрической сети напряжением 20 кВ и осциллограмм, полученных с регистраторов аварийных событий.

### Литература

1. **CIGRE Technical Report 569**, “Resonance and Ferroresonance in Power Networks”, 2014.
2. **Баран С. А., Нечитайлов В. В., Краснокутский В. В.** Возникновение феррорезонанса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС // Глобальная ядерная безопасность. — 2018. — № 2. — С. 56–65.

*В. Д. Битней, М. С. Кушнир, студенты;  
рук. О. Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СОПТ ЗА DC/DC КОНВЕРТОРАМИ С ПОМОЩЬЮ КОНДЕНСАТОРА**

На подстанциях в системах оперативного постоянного тока для гальванической развязки цепей питания релейной защиты и цепей питания с потенциально высоким уровнем перенапряжений и помех применяют DC/DC конвертеры. Актуальной задачей является обеспечение чувствительности автоматических выключателей (АВ) в цепях за DC/DC конверторами, которые, обычно ограничивают выходной ток на уровне двух или трех крат от номинального тока в течение времени до 100 мс, после чего отключаются, либо продолжают снижать выходной ток вплоть до номинального. Один из возможных путей обеспечения чувствительности АВ, является установка конденсаторов на выходе DC/DC конвертора.

Для расчета параметров конденсатора, необходимых для обеспечения чувствительности, в ПО ЕМТР-RV была разработана модель цепи, питающейся от DC/DC конвертора, представленным в ней источником тока, а также включающая в себя модель блока конденсатора, кабельной линии и АВ. Согласно МЭК 60947-2 [1], времятоковая характеристика АВ предоставляется производителем. В исследовании рассмотрен АВ с номинальным током 6 А, тип S200MUC6, производства компании АВВ [2]. Исходя из приведенной производителем характеристики, достаточным для отключения считался ток не менее 90 А, продолжительностью не менее 20 мс. Рассматривалась кабельная линия длиной 100 м сечением 2,5 мм<sup>2</sup> и два вида коротких замыканий в начале и в конце линии, а также различные уставки ограничения выходного тока DC/DC конвертера и его отключение.

Полученные значения емкости конденсатора, обеспечивающие необходимую чувствительность, приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Емкости конденсаторов при различных токах и местах КЗ

	$I_{DC/DC}=0$ А	$I_{DC/DC}=10$ А	$I_{DC/DC}=20$ А	$I_{DC/DC}=30$ А
КЗ в начале	23,5 мФ	21,3 мФ	19,1 мФ	17,1 мФ
КЗ в конце	65,5 мФ	48,5 мФ	36 мФ	26,7 мФ

### **Литература**

- ГОСТ Р 50030.2-2010 (МЭК 60947-2:2006) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. — Москва: Стандартинформ, 2012. — 157 с.
- MCB S200MUC for DC and AC applications [Электронный ресурс]. URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC002142D0207&Action=Launch> (Дата обращения: 03.11.2020)

*А. Ю. Горячкин, студ.; рук. Н. Н. Смотров, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА РАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЙ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ**

При проектировании электрических станций возникает проблема выбора расчетных условий для расчета токов короткого замыкания при выборе оборудования собственных нужд электрических станций и выборе уставок релейных защит. Данная проблема возникает из-за различных ремонтных режимов электрических станций. Целью работы была оценка расчетных условий при выборе оборудования собственных нужд теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) в зависимости от типа питания собственных нужд ТЭЦ, [1].

В качестве исходной задачи была рассмотрена ТЭЦ с двумя видами питания собственных нужд: основным — через трансформатор собственных нужд (ТСН), и резервный — от дизель-генераторной установки (ДГУ). Основные параметры элементов схемы, для которой производился расчет: мощность генератора 200 МВт,  $\cos\phi = 0,85$ , мощность дизель-генераторной установки 1000 кВА, мощность трансформатора собственных нужд 1000 кВА, [3]. Для оценки расчетных условий были рассчитаны трехфазные токи короткого замыкания в системе собственных нужд 0,4 кВ, согласно ГОСТ 28249-93. Результаты расчета были верифицированы в ПО GuplanAC, расхождения результатов не превышают 10%, [4].

По результатам расчетов было определено, что ток короткого замыкания, при питании системы собственных нужд ТЭЦ от ДГУ, составляет 40% от тока, при питании системы собственных нужд ТЭЦ от ТСН. На основании проведенных расчетов в качестве расчетных условий принята нормальная схема питания собственных нужд от ТСН. При проектировании собственных нужд электростанций требуется проведение подобных расчетов для выявления наиболее тяжелых расчетных условий при выборе оборудования.

### **Литература**

1. Балаков Ю. Н., Мисриханов М. Ш., Шунтов А. В. Проектирование схем электроустановок. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. Васильев А. А., Крючков И. П., Наяшкова Е. Ф. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. СПб: БХВ-Петербург, 2013.
4. Руководство по работе с программой Guplan / Электронный ресурс. Режим доступа: <http://es.mpei.ac.ru/>. Дата обращения: 29.10.2020.

А. А. Константинова, Д. З. Исаев, В. А. Меньшов, студенты;  
рук. Г. Ч. Чо, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ АВТОНОМНЫХ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Автономные гибридные электрические системы (АГЭС) повышают эффективность систем электроснабжения изолированных территорий. Применение систем накопления электроэнергии (СНЭ) компенсирует непостоянный характер выработки ВИЭ [1] на АГЭС.

Таблица 1. Параметры АГЭС

$P_{ГЕН}/P_{НАГР}$	1	0,9	0,8
$P_{ФЭС}$ , кВт	63	57	50
$P_{ВЭС}$ , кВт	60	54	48
$P_{СНЭ}$ , кВт	51	49	52
$C_{СНЭ}$ , кВт*ч	1117	563	301
$Q_{ДГ}$ л	41	219	415

Целью исследования являлся выбор расчетных условий, при которых достигается наибольшая эффективность АГЭС. Объект исследования — АГЭС в Ростовской области, состоящая из фотоэлектрической (ФЭС), ветряной (ВЭС), дизель-генераторной (ДГ) электростанции и СНЭ на базе Li-ион аккумуляторов. Потребитель мощностью 85 кВт подключен на напряжении 0,4 кВ. На рис. представлен недельный график изменения  $P_{НАГР}$  и  $P_{ГЕН}$  ВИЭ и  $C_{СНЭ}$  для трех случаев, табл. С уменьшением  $P_{ГЕН}$ , уменьшается  $C_{СНЭ}$ , но увеличивается потребляемое топливо ДГ,  $Q_{ДГ}$ .

Представленный подход позволяет произвести выбор оптимального набора параметров АГЭС, принимая во внимание характер относительного снижения емкости СНЭ и увеличения расхода топлива ДГ с изменением  $P_{ГЕН}$ , а также тренд на снижение цен на оборудование ВИЭ и СНЭ.

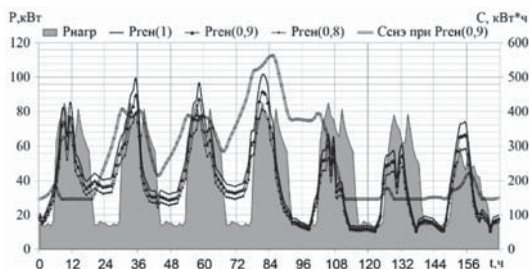


Рис. 1. Графики потребления, выработки ВИЭ и емкости СНЭ

### Литература

1. **Juan Aurelio** An Energy Storage System / Juan Aurelio, Montero-Sousa, Tomás González-Ayuso, Xosé Manuel Vilar Martínez, Luis Alfonso Fernandez-Serantes // *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*. — 2020. — PP. 337–356.

*Р. Ю. Гоенко, Е. Ю. Голохвастов, студенты;  
рук. О. Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА ДИСКРЕТНЫЕ ВХОДЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

На электрических станциях и подстанциях от общеподстанционного пункта управления (ОПУ) до открытого распределительного устройства (ОРУ) прокладываются, часто в одном кабельном лотке, кабель, питающий подогреватели высоковольтных выключателей, и кабель, передающий сигналы на дискретные входы релейной защиты, срабатывающие, согласно СТО ФСК 56947007-29.120.40.102-2011, при напряжении от 158 В и времени задержки срабатывания от 0 до 20 мс. При этом, ОРУ может располагаться на значительном удалении от ОПУ — до 500 м и более.

Кабели подвергаются электромагнитным воздействиям, возникающим при коротких замыканиях, переключениях (коммутациях) первичного оборудования и т.п., что может приводить к некорректной работе и ложным срабатываниям релейной защиты. Целью исследования являлось изучение наведенных напряжений в кабеле, подключенном к дискретным входам, при бросках тока в кабеле, проложенном рядом. Вопросы чувствительности микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) к электромагнитным воздействиям, влияние грозовых разрядов и коммутационных процессов в высоковольтных аппаратах изучались В. И. Гуревичем [1].

Моделирование осуществлялось в программном комплексе EMTP-RV, позволяющим рассчитывать сложные электромагнитные взаимодействия между кабельными линиями, благодаря блоку «Cable Data», с учетом взаимной индукции между жилами кабелей, а также их экранов, емкости между жилами кабеля и емкостями жил относительно земли. Для модели было выбрано сечение кабелей 95 и 2,5 мм<sup>2</sup>, длина общего участка варьировалась от 100 до 1000 м, рассматривались прямоугольные импульсы тока продолжительности от 1 до 100 мс.

Определены зависимости величины и продолжительности наводимых напряжений от взаимного расположения кабельных линий, длины общего участка, величины и продолжительности импульсов тока. Рассмотрен вопрос применения экранированных кабелей. Определены минимально допустимые сечения экранов при различных способах их заземления по условию термической стойкости.

### **Литература**

1. **Гуревич В. И.** Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2010. № 2.

*Д. А. Титков, студ.; рук. А. В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ «КОНТРОЛЛЕР ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЯЧЕЙКИ КРУЭ 220 КВ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ»**

Внедрение микропроцессорных устройств в качестве систем контроля и управления (СКУ) оборудованием электростанций и подстанций автоматизированных систем управления (АСУ) активно применяется в наше время. Использование оборудования нового поколения дает возможность качественного повышения культуры эксплуатации электрооборудования и значительно снижает вероятность ошибочных действий рабочего персонала на электростанциях и подстанциях.

Для подготовки специалистов в НИУ «МЭИ» была установлена ячейка КРУЭ на напряжение 220 кВ. Для эффективного обучения студентов необходимо разработать учебно-методические материалы по изучению конструкции и принципов эксплуатации распределительных устройств данного вида. В частности, данная работа посвящена разработке методических материалов по организации АСУ технологических присоединений (ТП). Ячейка КРУЭ 220 кВ оснащена полным комплектом шкафов, обеспечивающих местное управление коммутационными аппаратами.

В настоящее время при реализации информационного обмена в АСУ электро-технического оборудования (ЭТО) широкое распространение получает стандарт МЭК 61850. В стандарте МЭК 61850 для обеспечения информационного обмена используются информационные модели и специальные сервисы обмена данными, которые позволяют осуществлять обмен информации, непосредственно, между интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ). В данной работе будет подробно рассмотрены вторичные цепи объекта управления, программирование и конфигурирование контроллера присоединения (КП), и наладка обмена сигналами между устройствами АСУ по протоколам МЭК 61850. В стандарте прописано несколько протоколов, по которым передаются данные, основные это — MMS (Manufacturing Message Specification) и GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event).

### **Литература**

1. **Трофимов А. В., Поляков А. М.** «Основы организации микропроцессорных автоматизированных систем управления технологическими процессами электроустановок: учебное пособие». — М: Издательский дом МЭИ, 2014. — 119 с.
2. **Трофимов А. В.** «Управление электродвигателями собственных нужд в АСУ электроустановок». — М: Издательский дом МЭИ, 2010. — 120 с.

*В. Д. Прокофьев, студ.; С. А. Косарев, асп.;  
рук. О. Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

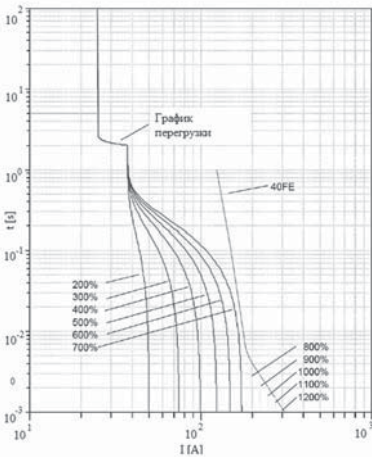
## КООРДИНАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВРЕМЯТОКОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Выходной ток от источников бесперебойного питания (ИБП) при коротком замыкании (КЗ) определяется его регуляторами: сдвига фазы, мгновенного напряжения, среднего напряжения, ограничителя среднеквадратичного тока и ограничителя мгновенного тока, что усложняет выбор автоматических выключателей (АВ), за ИБП, проверку их чувствительности и обеспечение селективности.

Регуляторы среднеквадратичного тока и среднего напряжения ИБП работают с запаздыванием около 100 мс и, практически, не влияют на ток КЗ. Частичное влияние оказывает регулятор мгновенного напряжения, с временем реакции около 10 мс, и решающее влияние оказывает ограничитель мгновенного тока, что позволяет рассматривать ИБП как источник тока с параметрами изменяющимися в процессе КЗ.

Для изучения поставленной проблемы использовался программный комплекс ЕМТР-RV (Powersys, Франция), в котором была создана модель электроустановки, разработана модель ИБП как источника тока с трехступенчатой время-токовой характеристикой, аппроксимирующей реальную времятоковую характеристику ИБП (рисунок 1).

Разработанная модель была верифицирована с помощью натурных испытаний и позволяет координировать времятоковые характеристики АВ и выходные характеристики ИБП.



**Рис. 1.** Времятоковая характеристика выходного тока системы SDC 220-25

*С. В. Соловьев, студ.; рук. А. А. Волошин, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУР ПОДСТАНЦИЙ**

Современный мир сложно представить без цифровых технологий. В электроэнергетической сфере так же активно применяются цифровые технологии. Развитие современных цифровых технологий и появление новых международных стандартов в этой сфере открывает возможности новых подходов к решению задач автоматизации и управления энергосистемой. Цифровая подстанция или ЦПС представляет собой сеть единого информационного пространства, для всех устройств, управляющих энергосистемой. Такая подстанция должна быть оснащена комплексом цифровых устройств, обеспечивающих функционирование систем релейной защиты и автоматики, учета электроэнергии, регистрации аварийных событий по международному протоколу МЭК 61850 [1].

В данном исследовании проанализированы существующие архитектуры ПС, использующие различные измерительные устройства и способы взаимодействия с энергосистемой. К таким архитектурам относятся, системы ПС с классической структурой, где основной канал передачи данных представляет собой дискретный и аналоговый электрический сигнал, передаваемый по контрольному кабелю и ПС использующие цифровые технологии для взаимодействия с энергосистемой [2]. Рассмотрен стандарт МЭК 61850, его разделы, преимущества и недостатки при проектировании электроэнергетических систем [3].

В результате проведенного исследования освещены различные способы взаимодействия устройств внутри подстанций, обеспечивающие необходимые требования. Был сделан вывод о решениях некоторых технических проблем, при использовании цифровых технологий.

На основании исследований, будет создан терминал на основе современного подхода программируемых логических интегральных схем. Способных обеспечить защиту подстанции, а также учет данных и управление подстанцией. Полученный терминал в дальнейшем будет испытан в программном комплексе.

### **Литература**

1. **Цифровые подстанции** [Электронный ресурс]. — 05.04.2015. — URL: <https://rza.org.ua/article/read/Cifrovye-podstancii.html> (дата обращения 04.11.2020).
2. **СТО 56947007-29.240.10.299-2020** «Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС»
3. **ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011**. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 5. Требования к связи для функций и моделей устройств. Дата введения 2012-09-01. М.: Стандартинформ, 2020



*В. А. Меньшов, студ.; И. Д. Витлинский, асп.;  
рук. Г. Ч. Чо, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Одно из преимуществ от интеграции систем накопления электроэнергии (СНЭ) в системы электроснабжения промышленных предприятий — это снижение затрат на электроэнергию [1]. В работе проведен анализ подходов в выборе емкости СНЭ и связанного с ней снижения затрат на электроэнергию.

Рассмотрена система электроснабжения промпредприятия напряжением 0,4 кВ, мощностью 1 МВт. Базовый подход предполагал круглосуточное ограничение мощности потребления на уровне 600 кВт. Предполагалось, что заряд производился в периоды, когда мощность потребления была ниже мощности ограничения, а разряд — дефицита мощности. Ёмкость, выбранная с учётом КПД СНЭ, составила 1,8 МВт·ч. Несмотря на нулевой суточный баланс энергии заряда и разряда, СНЭ не обеспечивает ограничение мощности потребления на втором пике нагрузки, но при этом снижает затраты на электроэнергию на 5%. Альтернативные подходы основывались на меньшем ограничении мощности потребителя, а также на ограничении мощности в определенное время суток. При таких подходах требуемая емкость СНЭ возрастает до 2,5 МВт·ч и 4,5 МВт·ч, затраты на электроэнергию снижаются на 11% и 17% соответственно.

Предпочтительный вариант из рассмотренных — применение СНЭ наибольшей ёмкости. Для оценки целесообразности установки СНЭ в системе электроснабжения промышленного потребителя следует учитывать влияние на надежность электроснабжения, качество электроэнергии, эксплуатационные расходы и ресурс СНЭ.

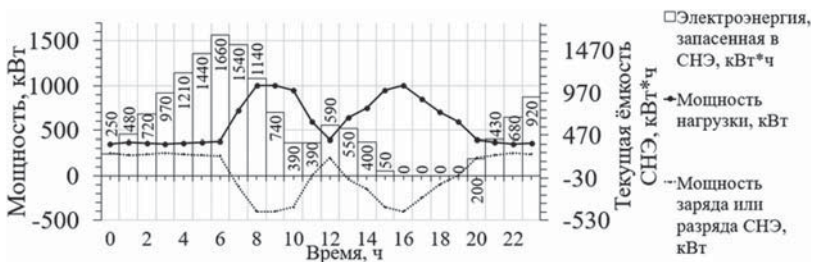


Рис. 1. Графики мощности нагрузки, энергоёмкости и баланса мощности в цепи СНЭ

### Литература

1. Дзюба А. П. Влияние формы графиков электрических нагрузок потребителей на эффективность ценозависимого управления на основе систем накопителей электроэнергии / А. П. Дзюба // Вестн. ВГУИТ. — 2020. — т. 82, № 1. — С. 291–303

*М. У. Магомедов, Д. А. Барышников, аспиранты;  
рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ТЭЦ С ЭНЕРГОБЛОКАМИ ПГУ-450**

Определена возможность аварийного перевода энергоблока ПГУ-450 ТЭЦ на нагрузку собственных нужд (СН) в случаях его отделения от энергосистемы при отключении выключателей высшего напряжения. В настоящее время в электроэнергетике России действуют стандарты ОАО «СО ЕЭС» [1], содержащие требования к способу сохранения электроснабжения собственных нужд (с.н.) электростанции при системных авариях. Анализ этих документов показал, что в них, не отражена необходимость оценки уровней ТКЗ при повреждениях в с.н., которые могут превзойти отключающую способность, установленных выключателей. В этой связи актуальной является задача повышения надежности ТЭЦ выбором схемы питания с.н. по критерию уровня ТКЗ. При этом рассмотрено питание потребителей СН ТЭЦ несколькими способами:

- от ТСН выделенного энергоблока газотурбинной установки (ГТУ) по резервной магистрали СН ТЭЦ;
- от РТСН через РУ высшего напряжения и резервной магистрали;
- через РУ высшего напряжения посредством блочных ТСН.

Разработаны технические решения по схемам питания оборудования СН блока ПГУ-450 в режиме АВСН.

Выполнены расчеты ТКЗ при повреждении на резервной магистрали СН при сохранении подключенных СН двух энергоблоков ПГУ-450 и местной нагрузки. Расчетные схемы ТКЗ представляют собой автономные системы, включающие турбогенератор ГТУ, потребителей СН и местную нагрузку ТЭЦ.

Критерием возможности использования режима АВСН являются результаты координации уровня ТКЗ с параметрами установленных выключателей в системе СН 6,3 кВ. При объединении потребителей СН всех блоков на резервную магистраль СН ТЭЦ и подключении местной нагрузки 20 МВт максимальный уровень ТКЗ составил 38,988 кА, что не превышает значения номинального тока отключения 40 кА установленного в СН выключателя. Однако, следует отметить, что при возможном перспективном расширении ТЭЦ может возникнуть необходимость замены выключателей на более мощные, или применить меры по ограничению ТКЗ.

### **Литература**

1. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.240.007. — 2008 «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем».

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

## **ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С УЧЁТОМ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМКЯНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

В распределительных сетях среднего напряжения широко применяются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений. Однако перенапряжения, вызванные дугowymi однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, могут приводить к повреждению ОПН. В методических указаниях по выбору ОПН [1] перенапряжения, обусловленные ОЗЗ, предлагается учитывать путём сравнения суммарной энергии, выделяющейся в ОПН в ходе ОЗЗ, с их энергоёмкостью. В качестве расчётных условий для сетей с компенсированной нейтралью в [1] предлагается рассматривать недокомпенсацию ёмкостного тока замыкания на землю в 10%, а число зажиганий перемежающейся дуги с наибольшей энергией — не более 30. Однако в [2] было показано, что при продолжительном существовании перемежающегося режима горения дуги при ОЗЗ возможен перегрев ОПН, который может приводить к выходу ОПН из строя.

Целью выполненной работы было уточнение методических указаний по выбору ОПН с учётом перенапряжений, обусловленных дугowymi ОЗЗ. Для этого в программе ЕМТР-RV (Powersys, Франция) была разработана модель ОПН типа ОПНп-10/10,5/10/680, позволяющая учитывать изменение вольтамперной характеристики ОПН при различных температурах с учётом нелинейного характера температурного коэффициента электрического сопротивления для оксида цинка, из которого изготавливаются варисторы ОПН. Было показано, что при продолжительном существовании перемежающейся дуги энергия, выделяющаяся в ОПН в ходе одного цикла «зажигание — гашение» при ОЗЗ, зависит не только от параметров режима и характеристик электрооборудования, входящих в состав рассматриваемой электрической сети, но и от изменения температуры варисторов.

Результаты расчетов могут быть использованы для уточнения методических указаний по выбору ОПН для сетей среднего напряжения с компенсированной или изолированной нейтралью.

### **Литература**

1. **Методические указания** по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6–35 кВ. М.: ООО «Спротек-11», 2001.
2. **Гусев Ю. П., Косарев С. А., Чо Г. Ч.** Отказоустойчивость ограничителей перенапряжений нелинейных при однофазных замыканиях на землю // Энергоэксперт. 2020. № 1 (73). С. 40–43.

*Д. А. Барышников, М. У. Магомедов, аспиранты;  
рук. В. В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБКИХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ НА ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Создание гибких электропередач на основе устройств FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) является одной из наиболее прогрессивных электросетевых технологий. FACTS оснащены устройствами современной силовой электроники, реализующими технологию интеллектуальных сетей [1]. Однако на возможность влияния на токи короткого замыкания они практически не исследовались.

Целью данного исследования является оценка влияния устройств интеллектуальных сетей на токи короткого замыкания.

В работе проведена расчетная оценка влияния некоторых устройств на ТКЗ от комплексов, состоящих из электрических машин и преобразователей частоты, а также определены способы ограничения ТКЗ с помощью некоторых устройств FACTS (СТК, ССПК, СТАТКОМ, ОРПМ, УШР различны по принципу действия и конструкции).

Для анализа произведены расчеты устройств FACTS, а также произведен расчет простых расчетных моделей сетей, содержащих некоторые устройства FACTS, в программном комплексе MathLAB с учетом параметров и особенностей применения каждого отдельного устройства. Расчеты показали, что использование СТК и СТАТКОМ для снижения значений токов КЗ не рекомендуется, т.к. данные устройства увеличивают ТКЗ на 6%. Применение объединенного регулятора потоков мощности (ОРПМ) позволяет снизить уровень токов КЗ примерно на 7–9%. ССПК, как и ОРПМ, включается в сеть последовательно, однако также негативно влияют на токи КЗ увеличивая его на 3%. А вот применение УШР позволяет снизить ТКЗ почти на 7%. Эффект напрямую зависит от установленной мощности устройства. Применение объединенного регулятора потоков мощности позволяет снизить уровень токов КЗ примерно на 7–9%.

Результаты исследований в дальнейшем могут быть использованы при разработке технических предложений по учету влияния устройств на ТКЗ с помощью устройств FACTS.

### **Литература**

1. **Зеленохат Н. И.** Интеллектуализация ЕЭС России: инновационные предложения. Издательский дом МЭИ, 2013.
2. **Бурман А. П., Розанов Ю. К., Шакарян Ю. Г.** Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

*А. Ш. Маджидов, асп.; рук. Ю. П. Гусев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Действующий стандарт [1] ориентирован на определение максимальных значений тока короткого замыкания (КЗ). Использование значений тока, рассчитанных на основе этого стандарта, для выбора уставок автоматических выключателей в электроустановках переменного тока напряжением 0,4 кВ, является одной из причин неотключения КЗ и, как следствие, возгорания кабелей и повреждения электрооборудования. Для выбора уставок защит необходимо знать минимальные значения токов КЗ. Методика их расчета должна учитывать не только сопротивление электрической дуги и «тепловой спад» тока КЗ, но и особенности влияния на ток КЗ асинхронных двигателей (АД).

Согласно [1], учитывать влияние АД на ток КЗ следует лишь в тех случаях, когда номинальный ток АД превышает 1,0% начального значения периодической составляющей суммарного тока КЗ, рассчитанного без учета АД. При расчетах токов КЗ допускается максимально упрощать и эквивалентировать внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только АД, непосредственно примыкающие к месту КЗ. В [1] допускается, при расчете начального момента КЗ использовать сверхпереходное сопротивление АД, вычисляемое на основе кратности их пускового тока.

В работе исследовано влияние перечисленных факторов на погрешность расчета токов КЗ с точки зрения их значимости для выбора уставок расцепителей мгновенного действия автоматических выключателей на примере электроустановки собственных нужд ТЭЦ-1 г. Душанбе, Республики Таджикистан с девятью АД. Приведено описание расчетной математической модели, разработанной в программном комплексе EMTP-RV (Powersys, Франция) [2]. Предложены пути совершенствования методики учета АД при расчете КЗ для выбора уставок автоматических выключателей.

Результаты работы могут быть использованы при подготовке новой редакции стандарта [1].

### **Литература**

1. **ГОСТ 28249-93.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. — Минск.: Издательство стандартов, Стандартинформ. — 1993. — 50 с.
2. **Ю. П. Гусев, А. Г. Каюмов, А. Ш. Маджидов.** Современные программные комплексы для расчета коротких замыканий // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — № 7. — 2020. — С. 19–27.

*В. С. Смирнов, асп.; рук. Т. Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ УСВИ ДЛЯ ОНЛАЙН МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБОМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Силовые трансформаторы в различных конструктивных исполнениях являются одним из важнейших и дорогих элементов энергосистемы. Неожиданный отказ силового трансформатора может привести к значительным затратам на ремонт и финансовым потерям из-за внепланового отключения.

Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) обеспечивают измерение электрических величин по всей энергосистеме в режиме реального времени. Широкое внедрение данной технологии на объектах электроэнергетики позволяет реализовать онлайн мониторинг за состоянием электротехнического оборудования, что напрямую может способствовать снижению количества аварий и отказов силовых трансформаторов.

В ходе данной работы разработана физическая модель силового трехфазного двухобмоточного трансформатора в программном комплексе Matlab/Simulink, позволяющая моделировать различные виды повреждений: деформация обмотки, витковые замыкания, перегрев и эрозия контактов, обрыв цепи [1].

Подход к выявлению дефектов основан на контроле параметров схемы замещения трансформатора, которые рассчитываются по измеренным электрическим величинам УСВИ. Подключение УСВИ показано на рисунке 1. Параметры моделируемой сети и силового трансформатора представлены в приложении В12 в [2].

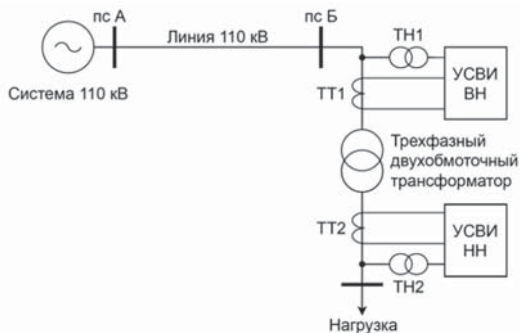


Рис. 1. Моделируемая схема сети в Matlab/Simulink

### Литература

1. С. Д. Лизунов, А. К. Лоханина Силовые трансформаторы. Справочная книга. М.: Энергоиздат, 2004.
2. СТО 56947007-29.120.70.241-2017 Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА

*Р. Б. Шокиров, студ., Н. П. Грачева, асп.;*  
*рук. А. А. Волошин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АСУ ТП ПОДСТАНЦИЙ**

Разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), что и по сей день остаётся весьма трудоёмкой и наукоемкой задачей.

Качественная и количественная оценка информационного обеспечения АСУ ТП и РЗА, проведенная для пяти подстанций, выявила ряд их общих особенностей и характерных отличий, что показало необходимость разработки единого автоматического метода построения АСУ ТП подстанций. [1]

В работе подробно рассматриваются способы выявления закономерностей на основе методов искусственного интеллекта, что является одной из базовых проблем интеллектуального анализа данных для больших массивов накопленных данных и требует обеспечения автоматизации. [2] Также рассматриваются базы знаний и онтологии для записей закономерностей, так как они позволяют, описывая определённую предметную область, синтезировать ответы на запросы из этой предметной области, которые в явном виде не присутствуют в базе знаний. [3] Помимо этого, производится поиск программной библиотеки, для обрабатывания закономерностей на основе графов, которые позволяют моделировать базы данных с использованием новых инструментов, и представлять большие и сложные зависимости, а также осуществлять хранение взаимосвязей и навигацию в них. [4]

В перспективе данная работа может помочь сделать процесс создания АСУ ТП подстанций более быстрым и менее сложным для человека, что поможет ускорить развитие данной области.

### **Литература**

1. **Волошин А. А., Воробьев В. С., Селезнев М. И.** Анализ информационного обеспечения АСУ ТП и РЗА действующих подстанций // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2017, № 2 (41). С. 76–81
2. **В. В. Краснопрошин., В. Г. Родченко.** Автоматическое обнаружение скрытых закономерностей на основе статистического анализа данных обучающей выборки // Вестник БГУ. Сер. 1. 2016. № 3. С. 120–124
3. **Волошин А. А., Волошин Е. А., Бусыгин Т. Г.** Применение баз знаний для автоматического синтеза оптимальной функциональной структуры РЗА цифровых подстанций // РЕЛЕЙЩИК, 2018, № 1 (31). С. 12–16
4. **Огородникова О. В., Дубровин А. С.** Кластеризация в графовых системах управления базами данных // современная наука: актуальные проблемы теории и практики. серия: естественные и технические науки, 2020, № 5. С.100–101

*Р. В. Казанбеков, студ., Н. П. Грачева, асп.;  
рук. А. А. Волошин, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ И РАСПОЗНАВАНИЕ СМЫСЛА В ТЕКСТЕ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПРОСОВ В БАЗУ ЗНАНИЙ АСУ ТП ПОДСТАНЦИЙ**

В настоящее время одной из наиболее наукоемких и трудоемких задач, является разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Качественная и количественная оценка АСУ ТП и РЗА, проведенная для пяти подстанций, позволила нам сделать выводы, насчет необходимости разработки способа автоматического формирования правил построения АСУ ТП ПС. [1]

В работе подробно рассматривается применение программных библиотек для распознавания речи и распознавания смысла в тексте, для дальнейшего формирования запросов в базу знаний. Рассмотрены плюсы и минусы определенных библиотек и на основе этих результатов выбрана необходимая. [2] [3] В данной работе рассматривается возможность создания базы знаний на основе текстов НТД, так как она является важной частью разработки способа формирования правил АСУ ТП ПС. Также рассматривается один из основных элементов баз знаний — онтология и применении их в электроэнергетике, так как они позволяют, описывая определённую предметную область, синтезировать ответы на запросы из этой предметной области, которые в явном виде не присутствуют в базе знаний. [4]

Перспективой данной работы может стать исключение значительной части ошибок, основанных на человеческом факторе, облегчение обучения персонала, ускорение развития данной области, а также поможет сделать процесс создание АСУ ТП ПС быстрее и менее сложным для человека.

### **Литература**

1. **Волошин А. А., Воробьев В. С., Селезнев М. И.** Анализ информационного обеспечения АСУ ТП и РЗА действующих подстанций // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2017, № 2 (41). С. 76–81
2. **Капустин Д. А., Антонюк И. С., Гречина А. А., Суворова Е. Ю., Швыров В. В.** Анализ основных технологий распознавания речи // ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ: МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (ПИИВС-2016), 2016, С. 213–217
3. **Левинский А. Т., Быковский Д. К.** Поиск и распознавание заданных ключевых фраз в слитной речи // POLITECHNICALSTUDENTJOURNAL, 2018, № 11 (28). С. 5
4. **Волошин А. А., Волошин Е. А., Бусыгин Т. Г.** Применение баз знаний для автоматического синтеза оптимальной функциональной структуры РЗА цифровых подстанций // РЕЛЕЙЩИК, 2018, № 1 (31). С. 12–16



*Н. А. Губарев, студ.; рук. А. Х. Сабитов, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

## **НАЗЕМНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ 110–220 КВ**

Основным требованием для предотвращения аварий на электрических подстанциях является регулярный осмотр и диагностика оборудования. На подстанциях без постоянного дежурного персонала визуальный осмотр производится не реже 1-го раза в месяц, тепловизионный и ультрафиолетовый осмотр трансформаторов 110–220 кВ раз в два года, для остального электрооборудования проводится по решению технического руководителя субъекта электроэнергетики [1,2]. Для улучшения качества проведения обследования электрооборудования предлагается внедрение наземной роботизированной системы диагностики электрооборудования.

Разрабатываемая система состоит из робота-инспектора, с установленным на него диагностиционным оборудованием, и станции подзарядки, совмещающей в себе систему передачи данных оператору. Для навигации на подстанции робот будет оснащён лазерной системой ориентирования [3]. Для упрощения внедрения системы составляются подробные шаблоны 2D карт подстанций типа 4Н и 5Н.

Инспекция будет проводиться как по требованию оператора так и по заранее запланированному графику, согласно статистике отказов оборудования. Для анализа будет применяться автоматическая система управления, позволяющая осуществлять анализ полученных данных и объединить системы контроля оборудования, что позволит осуществлять регулярные осмотры по состоянию. По завершению будут составляться отчёты и нормы обследований по состоянию. При обнаружении повреждений система будет сигнализировать об неисправности, предоставляя доступ к данным и архиву, что ускорит поиск поломки.

Внедрение роботизированного комплекса на подстанции 110–220 кВ позволит улучшить качество обследования электрооборудования, при сохранении нынешних затрат на обслуживание подстанции и ускорить корректировку графика ремонтных работ для перехода к ремонтам по состоянию.

### **Литература**

1. **СТО 70238424.29.240.01.008-2009.** Электрические сети. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования. Москва 2009.
2. **СТО 34.01-23.1-001-2017.** Объёмы и нормы испытаний электрооборудования. ПАО «Россети»
3. **Ying Zhang.** Mobile robot for power substation inspection: a survey. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. Январь 2007.

**Секция 56**  
**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. В. Галимова, асп.; рук. А. А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ФОНОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ НА РАЗВИТИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СТРИМЕРОВ В ВОЗДУХЕ

Положительные импульсные стримерные электрические разряды в воздухе применяются в высоковольтных электротехнологиях (ВВЭТ) [1]. Головки стримеров являются источником сильного электрического поля (ЭП). В нём происходят ударная ионизация, диссоциация, возбуждение молекул и атомов газа. Образуются химически активные частицы, в дальнейшем участвующие в конверсии газообразных примесей, синтезе озона и т.п. Поэтому исследования стримерных разрядов, включая их математическое моделирование, являются составной частью работы специалистов в области техники и электрофизики высоких напряжений.

Параметры стримеров, среди прочего, определяет фоновая концентрация  $N_0$  отрицательных ионов [2], образующихся под действием ионизирующего излучения из внешних источников и всегда присутствующих в воздухе. Она может варьироваться в широких пределах  $N_0=10^3 \div 10^5 \text{ см}^{-3}$  [1]. С ростом  $N_0$  увеличивается диаметр стримерных головок и скорость их распространения в пространстве [2]. В ВВЭТ важно добиться высокой напряжённости ЭП в стримерных головках. Поэтому здесь изучено влияние значений  $N_0$  на максимальную напряжённость  $E_{\max}$  ЭП в головках.

Автор выполнила расчёт параметров положительных стримеров в заполненном воздухом разрядном промежутке с однородным ЭП при помощи математической модели [1]. В табл. 1 приведены результаты для ЭП с напряжённостью  $75 \cdot 10^3 \text{ В/см}$  по состоянию на момент времени  $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ , когда стримеры достигли длины  $\approx 0,1 \text{ см}$ . Значения  $E_{\max}$  тем выше, чем ниже фоновая концентрация  $N_0$  отрицательных ионов.

**Таблица 1.** Средняя скорость  $v_{\text{ср}}$  стримерных головок и максимальная напряжённость  $E_{\max}$  в них в зависимости от фоновой концентрации  $N_0$  отрицательных ионов

$N_0, \text{ см}^{-3}$	$10^3$	$10^4$	$10^5$
$E_{\max}, 10^3 \text{ В/см}$	258,6	183,7	141,1
$v_{\text{ср}}, 10^7 \text{ см/с}$	5,286	5,686	6,286

### Литература

1. **Электрофизические** основы техники высоких напряжений: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Pancheshnyi S.** Role of electronegative gas admixtures in streamer start, propagation and branching phenomena // Plasma Sources Sci. Technol. 2005. Vol. 14. PP. 645–653.

*С. Р. Калюжная, студент, О. С. Белова, м.н.с.;  
рук. А. Г. Темников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ГРОЗОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Системы мониторинга различного назначения широко используются на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) и становятся важным элементом цифровой энергетики [1]. Элементы таких систем мониторинга (датчики, преобразовательные и передающие устройства) будут функционировать в условиях сложной электромагнитной обстановки, особенно в грозовых условиях. В докладе представлены результаты исследования возможного воздействия искусственной грозовой ячейки на модельные элементы систем мониторинга, которые могут располагаться на проводах ВЛ.

При экспериментах рассматривалась система двух проводов, а модельный датчик представлял из себя цилиндрический элемент, изолированный от основной части провода. Регистрировались как непосредственное попадание разряда в модельный датчик, так и наводимый на датчике сигнал, при попадании разряда в соседний провод, либо рядом с датчиком. Было выполнено и проанализировано 307 экспериментальных подходов. Основные характеристики полученных сигналов при вспышке стримерной короны или формировании главной стадии разряда приведены в табл. 1

**Таблица 1.** Основные характеристики сигналов на модельных датчиках

Стадия разряда	Прямой удар				Ближний удар	
	$\Delta T$ , мкс	$ I_{\max} $ , А	$a_{0,3}$ , А/нс	$a_{\max}$ , А/нс	$\Delta T$ , мкс	$ I_{\max} $ , А
Корона	[6,2 ± 5,2]	[6,4 ± 6,2]	[0,04 ± 0,06]	[0,07 ± 0,09]	[1,0 ± 0,6]	[2,4 ± 0,3]
Главная	[1,5 ± 1,0]	[52,2 ± 44,5]	[0,8 ± 1,1]	[1,3 ± 1,5]	[0,8 ± 0,3]	[4,9 ± 2,5]

При попадании разряда непосредственно в датчик, при главной стадии разряда через него протекают токи до 182 А, а крутизны импульса тока на порядок превышают крутизны сигналов при коронном разряде. При ближних ударах на нем наводятся сигналы до 2,8 А от коронного разряда и до 12 А от главной стадии разряда. Таким образом, в грозовых условиях можно ожидать, что на элементы системы мониторинга на проводах ВЛ могут наводиться сигналы амплитудой в десятки-сотни ампер.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

### **Литература**

1. А. Самарин, В. Масалов. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП. CONTROL ENGINEERING РОССИЯ, 2013, т. 45, № 3, с. 88–94.

*А. И. Костиков, студент, О. С. Белова, м.н.с.;  
рук. Л. Л. Черненский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИФИКИ ЗАЩИТЫ АНТЕННЫ ПОГОДНОГО РАДАРА САМОЛЕТА СЕГМЕНТНЫМИ МОЛНИЕОТВОДАМИ**

Для защиты носовых обтекателей самолетов и находящегося под ними оборудования от грозовых облаков используются молниеотводы различного вида. В последние десятилетия для этих целей стали широко применяться сегментные молниеотводы, расположенные на внешней поверхности обтекателя [1]. Предполагается, что они улучшают радиопрозрачность носового обтекателя самолета без ухудшения рабочих характеристик антенны под ним. В докладе представлены результаты исследования, с использованием искусственной грозовой ячейки потенциалом до 1 МВ, специфики импульсных электромагнитных помех, наводимых на модели антенны под обтекателем, защищаемого сегментными молниеотводами.

На заземленном электроде размещалась модель носового обтекателя с установленной внутри нее моделью плоской антенны погодного радара самолета. Параметры сигналов, наводимых на антенне при наличии и при отсутствии на поверхности модели обтекателя сегментных молниеотводов, приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры сигналов на антенне

Молниеотвод	$\Delta T$ , мкс	$a_{0,3}$ , А/нс	$ I_{\max} $ , А	$ Q_{\text{сумм}} $ , мкКл
Нет	$[2,0 \pm 1,5]$	$[1,0 \pm 1,2]$	$[86,7 \pm 73,3]$	$[78,3 \pm 93,5]$
Есть	$[1,1 \pm 0,8]$	$[5,9 \pm 10,3]$	$[38,1 \pm 25,1]$	$[9,5 \pm 13,2]$

При наличии сегментного молниеотвода амплитуда наводимого тока снижается в среднем в 2,3 раза (с 86 А до 38 А). Но несмотря на явный положительный эффект от установки сегментного молниеотвода, необходимо учитывать, что даже при нем амплитуда наводимого тока может достигать сотни ампер, а длительность такого воздействия 7,3 мкс. При этом наведенные на модель антенны сигналы, при наличии молниеотвода, имеют значительно большие крутизны импульса тока (до 54 А/нс), в то время как в отсутствии молниеотвода, значения крутизны наведенного импульса не превышают 5 А/нс.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

### **Литература**

1. D. Morgan, C.J. Hardwick, S.J. Haigh, A.J. Meakins. The Interaction of Lightning with Aircraft and the Challenges of Lightning Testing // Aerospace Lab Journal 5, — ALO5-11, — pp. 1–10, — 2012.

*Ф. А. Куликов, асп.; Я. А. Умнов, студ.;  
рук. И. Е. Иванов, к. т. н. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С УТОЧНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ПО ДАННЫМ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Совершенствование методов определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях (ВЛ) 110–750 кВ является известной и важной задачей электроэнергетики, напрямую связанной с уменьшением финансовых ресурсов, а также затрат труда и времени при поиске места короткого замыкания (КЗ) и устранении его причины. На ВЛ 110 кВ и выше широкое распространение получили методы ОМП по параметрам аварийного режима, в т. ч. по двусторонним замерам [1]. Внедрение устройств синхронизированных векторных измерений (СВИ) создает предпосылки для развития этих методов. Целью исследования является разработка метода ОМП на одноцепной трехфазной ВЛ на базе СВИ напряжений и токов по обоим концам ВЛ (зафиксированных как в доаварийном режиме, так и непосредственно при КЗ на ВЛ). В качестве метода исследования на текущем этапе работы используется математическое моделирование в программном комплексе MATLAB с реализацией алгоритмов в виде m-файлов.

Основной особенностью предлагаемого подхода, отличающего его от идей, изложенных в других работах по данной проблеме, является попытка учета неопределенности задания погонных параметров ВЛ — комплексных сопротивлений (Ом/км) и проводимостей (См/км), зависящих, как известно, от погодных условий и передаваемой по ВЛ мощности. Таким образом, формируется система уравнений, включающая в качестве искоемых переменных не только расстояние до точки КЗ, но также параметры прямой и нулевой последовательностей ВЛ.

Для оценки работоспособности предлагаемого метода применялся сравнительный анализ результатов ОМП при однофазных КЗ на моделях электрической сети с ВЛ 110, 220, 330 и 500 кВ. Во всех случаях на «эталонные» СВИ накладывались систематические ошибки измерений согласно концепции «полная векторная погрешность». Установлено, что разработанный метод в целом обеспечивает более точные результаты ОМП, чем несколько известных расчетных выражений, представленных в [1] и других источниках, при погрешностях СВИ в пределах 2%.

### **Литература**

1. **Аржанников Е. А., Лукоянов В. Ю., Мисриханов М. Ш.** Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / под ред. В. А. Шуина. М.: Энергоатомиздат, 2003.

*М. А. Шкилькова, студент, О. С. Белова, м.н.с.;  
рук. А. Г. Темников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА АНТЕННЕ ПОГОДНОГО РАДАРА САМОЛЕТА ПРИ ГРОЗЕ**

Антенна погодного радара расположена под полым диэлектрическим носовым обтекателем самолета и защищается при грозе полосовыми или сегментными молниеотводами [1]. Вид и интенсивность электромагнитных помех, наводимых грозовыми облаками и молнией на антенне под обтекателем, будут зависеть как от характеристик самой антенны, так и от параметров защищающих ее молниеотводов. В докладе представлены результаты исследования характеристик импульсных электромагнитных помех на моделях антенны разного вида под моделью носового обтекателя, защищенного полосовыми молниеотводами, при воздействии на него искусственной грозовой ячейки с помощью специального экспериментально-измерительного комплекса «ГРОЗА».

Исследовались следующие типы антенн: Антенна 1 — плоская антенна квадратной формы, Антенна 2 — антенна со сферической вершиной, Антенна 3 — плоская антенна круглой формы со скругленными краями. Наводимые на антеннах сигналы регистрировались с помощью цифрового запоминающего осциллографа. Параметры импульсов, наводимых на моделях антенн при формировании разряда с модели молниеотвода на внешней поверхности обтекателя, приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры сигналов на модели антенны

	$\Delta T$ , мкс	$ I_{\max} $ , А	$ Q_{\text{сумм}} $ , мкКл
Антенна 1	$[2,6 \pm 0,8]$	$[20,7 \pm 8,3]$	$[3,8 \pm 0,8]$
Антенна 2	$[1,8 \pm 0,6]$	$[30,1 \pm 12,9]$	$[4,4 \pm 1,0]$
Антенна 3	$[2,5 \pm 0,9]$	$[26,7 \pm 11,3]$	$[3,9 \pm 1,1]$

Наибольшие наводки отмечались на Антенне 2: амплитуда наводимого тока достигала 82,8 А, длительность воздействия не превышала 2,8 с. Максимальные значения сигналов, наводимых на Антенне 1, были в 2,4 раза ниже чем для Антенны 2, и в 1,6 раза ниже, чем для Антенны 3. Таким образом, что на антеннах, имеющие острые края, наводятся меньшие по амплитуде сигналы, чем на антеннах скругленной формы.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

### **Литература**

1. Hall A. Thunderstorm Protection of Aircraft Radomes // International Conference on Lightning and Static Electricity. — Seattle, USA, — 2005.

К. И. Таратонкина, студ.;  
рук. А. А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОГРАНИЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРОЛЁТАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) являются самым протяжённым источником электрических полей (ЭП) промышленной частоты. В России приняты санитарные правила и нормативы, ограничивающие воздействие ЭП на персонал, работающий с их источниками, и население [1]. Поэтому обязательный этап проектирования ВЛ — это анализ их полей.

Фазные провода (ФП) ВЛ с номинальным напряжением 500 кВ и выше часто размещаются на одинаковой высоте. Ослабить ЭП под ними, например, позволяет подъём среднего ФП над двумя крайними на некоторую высоту  $\Delta H$  при сохранении расстояния  $D$  между ними (см. рис. 1.а). При этом уменьшается расстояние  $S$  между крайними ФП. В совокупности это обеспечивает частичное взаимное экранирование ЭП всех ФП.

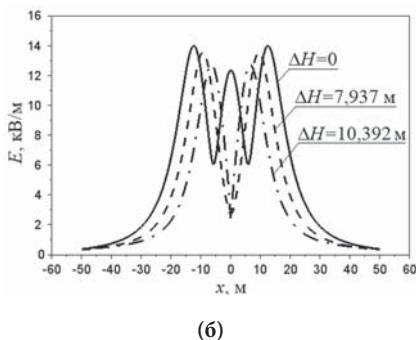
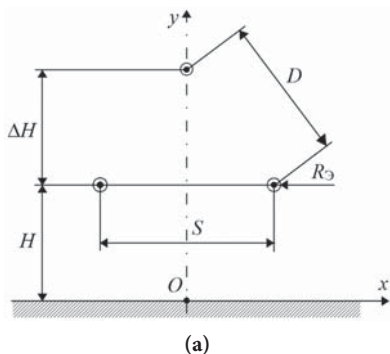


Рис. 1. Расположение фазных проводов ВЛ в её пролёте (а) и распределения напряжённости ЭП на высоте 1,8 м над землёй под проводами ВЛ 500 кВ (б) при  $H=8$  м,  $D=12$  м,  $R_\phi=0,1325$  м,  $S=2D$ ,  $1,5D$  и  $D$  ( $\Delta H=0$ ,  $7,937$  и  $10,392$  м)

На рис. 1.б показаны расчётные распределения действующих значений напряжённости  $E$  ЭП в поперечном сечении ВЛ 500 кВ на высоте 1,8 м над поверхностью ровной земли. Они получены методом эквивалентных зарядов в сочетании с методом зеркальных отражений в грунте [1, 2]. Приведены данные для  $S=(1\div 2)D$  ( $\Delta H=(0,5\sqrt{3}\div 0)D$  соответственно). Увеличение  $\Delta H$  в указанном диапазоне позволяет уменьшить максимальное значение  $E$  с 14,02 до 12,76 кВ/м и ослабить поле под средним ФП более чем в 2 раза.

### Литература

1. Колечицкий Е. С., Романов В. А., Карташев В. Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учеб. пособие для вузов. — М.: Изд. дом МЭИ, 2008.
2. Белогловский А. А., Пашинин И. В. Методы расчета электрических полей в приборах и задачах: учеб. пособие. — М.: Изд. дом МЭИ, 2007.



*П. М. Авдонин, асп.; рук. Т. Г. Климова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО ТОЧКИ ВОЗМУЩЕНИЯ**

Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) сегодня становятся все более и более распространенным явлением в электрических сетях. Не смотря на то, что они составляют небольшой процент от общего количества устройств, они показали высокую эффективность. По оценкам ведущих экспертов в данной области, УСВИ являются перспективным направлением разработки [1]. Данные устройства входят в систему SCADA, которая позволяет в реальном времени получать информацию об объекте мониторинга.

В данной работе использовались метод математического моделирования в программном комплексе РТДС (real time digital simulator), методы обработки сигналов в MATLAB, метод аппроксимации, и графоаналитический метод. В качестве входных величин использовались сигналы УСВИ, установленных в разных точках тестовой схемы, а также сигналы УСВИ, расположенных в контролируемых точках ЭЭС РФ.

Были рассмотрены основные факторы, влияющие на характеристики режимных параметров, зависящие от расстояния от точки возмущения до точки наблюдения. Произведено исследование точности оценки расстояния в зависимости от типов сигналов электрических величин (напряжение, частота), выдаваемых УСВИ с различных точек энергосистемы, как удаленных от возмущения, так и тех, на которых произошло возмущение. Для более подробного исследования зависимостей выполнено определение аperiodической составляющей, а также времени запаздывания сигналов. Предложен метод по определению источников различных возмущений. Кроме того, представлен анализ измерений, получаемых с помощью установленных в разных точках энергосистемы УСВИ при разных типах возмущений.

На основе проведенных расчетов, получаемых при разложении сигнала, определена фактическая зависимость места возмущения от входящей электрической величины. Подробные результаты исследований приведены в докладе.

### **Литература**

1. Рубрика «Коллективный разум». Перспективы применения синхронизированных векторных измерений // Цифровая подстанция. 2017. № 8.

*Н. Е. Бондаренко, студ.; рук. А. А. Лебедев, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ РЗА И АСУ ТП ЦПС**

С развитием энергетики и увеличением числа цифровых подстанций появилась необходимость выявления факторов, влияющих на работу основных комплексов ЦПС и их надежность. Это становится одним из главных вопросов, так как требуется уточнение и дополнение общепромышленной нормативно-технической базы по разработке, проектированию и эксплуатации оборудования ЦПС, в том числе, и основного стандарта МЭК 61850, его гармонизация среди других [1].

Жизненный цикл ЦПС разделяют на три основных этапа: проектирование, изготовление, эксплуатация. На каждом этапе можно выделить основные факторы, влияющие на надежность работы оборудования [2]. На этапе проектирования ЦПС к подобным факторам можно отнести количество основных элементов, выбранное решение построения РЗА ЦПС, применение унифицированных элементов, компетенция разработчика. На стадии изготовления к влияющим факторам относится качество изготовления самих структурных элементов, степень автоматизации, качество хранения комплектующих материалов и сборки, чистота рабочих мест, помещения и оборудования. Самым длительным из трех этапов жизненного цикла является стадия эксплуатации, на котором появляются такие факторы, как фактор времени, качество обслуживания и ремонтов, внешние условия (климатические, перегрузки и т. д.). На нормальную эксплуатацию ЦПС также влияет уровень ее цифровизации.

Эффективность цифровых комплексов РЗА и АСУ ТП в нормальных условиях эксплуатации непосредственно определяется человеческим фактором, который проявляется в характере и степени воздействия человека на этапах жизненного цикла отдельных устройств.

При переходе к ЦПС соответственно меняются и подходы к проектированию, наладке и эксплуатации оборудования, степень участия человека в которых не равномерна и стремительно изменяется. Именно поэтому большую часть исследований стоит уделять разработке методологии определения человеческого фактора и степени его влияния.

### **Литература**

1. Обобщение мировых тенденций развития техники и технологий электроэнергетики в области работы ИК В5 «Релейная защита и автоматика» релейной защиты и автоматики энергосистем (по итогам 47-й сессии СИГРЭ 2018 г.) [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://cigre.ru/47/pdf/B5\\_%D0%96%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf](http://cigre.ru/47/pdf/B5_%D0%96%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf).
2. ГОСТ Р 27.015-2019 (МЭК 60300-3-15:2009) Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по проектированию надежности систем.

Д. М. Бисеров; рук. Т. Г. Климова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЧК МЕТОДОМ АППРОКСИМАЦИИ

Обеспечение качества регулирования напрямую связано с задачей идентификации параметров регулируемого объекта. В области электроэнергетики таким объектом является электроэнергетическая система, параметры которой аналитически определить достаточно сложно.

В теории автоматического регулирования стоит задача идентификации переходной характеристики электроэнергетической системы как объекта. На математической модели возможен следующий алгоритм определения переходной характеристики:

1. Задание пробного возмущающего воздействия во входном канале регулятора;
2. Фиксация переходного процесса в контролируемой величине;
3. Преобразование сигнала возмущения и переходного процесса по контролируемой величине в спектры через преобразование Фурье;
4. Почастотное деление значений спектра переходного процесса и значений спектра возмущающего воздействия для получения АЧХ и ФЧХ.

Данный метод очень удобен при применении математической модели, однако имеет свои недостатки, в результате чего текущий метод идентификации является неприменимым для задач автоматической подстройки регуляторов и оперативного управления режимом.

Для решения задач реального времени предлагается применение метода аппроксимации. В качестве целевой функции предлагается функция ряда затухающих гармоник:

$$f(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i e^{j b_i t} \sin(2\pi c_i \cdot t + d_i)$$

Данный метод позволяет не только определять гармонический состав переходных процессов электрических величин, но и другие важные характеристики.

### Литература

1. **Веников В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М. — Л., издательство «Энергия», 1964, 380 стр. с черт.
2. **Литкенс И. В., Пуго В. И.** Колебательные свойства электрических систем. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 216 с.
3. **Kundur, Prabha.** Power system stability and control // 1993

*Е. А. Кислова, студ.; С. А. Зализный, студ.;  
рук. Я. Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРАХ**

При расчетах переходных процессов в электрических цепях применяется изображение синусоидальных функций времени векторами и комплексными числами. Для повышения визуализации считываемой с синхронных генераторов информации, в том числе при анализе переходных режимов, рассматривается метод представления электрических величин на гиперплоскости (плоскости с двумя системами координат) в виде гипервекторов (четырёхмерных векторов), которые отображают все параметры составляющих переходных процессов: частота, фаза, амплитуда и затухание.

Сопоставлены свойства графических изображений электрических величин в различных установившихся и переходных режимах работы синхронных генераторов в составе ЕЭС России.

Произведено сравнение точности представления результатов с помощью двухмерных и четырёхмерных векторов по критериям точности, включающим в себя полную, токовую и угловую погрешности.

Определены годографы гипервекторов при изменении параметров расчетной схемы замещения.

### **Литература**

1. **Арцишевский Я. Л., Климова Т. Г., Расщепляев А. И.** Представление переходных процессов электроэнергетических систем на гиперплоскости с двумя системами координат // *Электричество*. 2011. № 4. С. 37–42.

*В. Д. Уксеков, М. С. Малютин, Д. М. Саранов студенты.;  
рук. В. Г. Карантаев, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ**

В рамках создания интеллектуальной системы с активно-адаптивной сетью или Smart Grid активно ведутся работы в направлении создания цифровых подстанций. В подстанции такого типа уровень автоматизации довольно высок, а все процессы информационного обмена осуществляются в цифровом виде.

Однако в цифровом пространстве существуют проблемы информационной безопасности подстанции. Суть проблемы заключается в том, что закрытость объекта больше не является барьером для кибератаки [1].

Будучи в первую очередь объектом критической информационной инфраструктуры, цифровая подстанция должна иметь высокотехнологические средства защиты от кибератак [2].

Разработать высокоэффективную систему информационной безопасности возможно на базе искусственного интеллекта. Именно методы искусственного интеллекта предоставляют возможность создавать решения, позволяющие идентифицировать кибератаки с высокой скоростью, выбирать оптимальный ответ на инциденты безопасности, в автоматическом режиме проводить оценку актуальности и последствий инцидентов, в реальном времени вырабатывать пропорциональный ответ.

Данная работа представляет собой обзор на основные типы угроз для цифровых подстанций и существующие методы обеспечения информационной безопасности, а также исследование возможности использования методов искусственного интеллекта в системах информационной безопасности цифровых подстанций.

В перспективе данная работа будет основой для разработки конечного вида решения синтеза методов искусственного интеллекта и систем информационной безопасности.

### **Литература**

1. **Юшкевич Р. А.** Информационная безопасность современных систем релейной защиты и автоматизации // Актуальные проблемы энергетики: материалы 72-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. Минск: БНТИ, 2016.
2. **Зинин В. М., Подлесный А. М., Карантаев В. Г.** Цифровая подстанция — объект критической инфраструктуры // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2017. № 4 (93).

*Н. В. Беспалько, асп.,  
рук. Я. Л. Арцишевский, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПАСНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ТОКОВ ПРИ КОММУТАЦИИ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ. БЛОКИРОВКА ОТКЛЮЧЕНИЯ ОДНОПОЛЯРНОГО ТОКА**

За 2006–2011 годы в энергосистеме России произошел ряд аварий с последующим разрушением элегазовых выключателей 500–750 кВ. Причиной аварий явилось длительное неотключение полюсом элегазового выключателя не переходящего через ноль тока из-за наличия в нем большой аperiodической составляющей.

Целью работы является оценка опасности аperiodической составляющей тока при коммутациях в сетях СВН, разработка мероприятий, направленных на предотвращение повреждений элегазовых выключателей.

В работе было произведено исследование электромагнитных переходных процессов, возникающих при коммутациях в сетях СВН, порождающих аperiodическую составляющую тока. Произведена оценка эффективности и достаточности имеющихся методов снижения аperiodической составляющей тока. Выполнено исследование источников геоиндуцированных токов с целью рассмотрения их как квазипостоянных и представляющих дополнительную опасность для коммутационного элегазового оборудования;

Для решения проблемы повреждения элегазовых выключателей разработан алгоритм устройства блокировки отключения однополярного тока выключателя (БООТ). Так же было проведено исследование возможных взаимодействий устройства БООТ с имеющимися методами снижения аperiodической составляющей тока и возможности применения для реализации устройства БООТ классических электромагнитных трансформаторов тока..

Полученные результаты исследований подтверждают актуальность проблемы, связанной с необходимостью разработки устройства блокировки выключателя при наличии опасной аperiodической составляющей в токе выключателя.

### **Литература**

1. **Евдокунин Г. А., Дмитриев М. В., Карпов А. С., Шескин Е. Б., Долгополов А. Г., Кондратенко Д. В.** Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы. СПб, Родная Ладога. 2013 г.
2. **Наумкин И. Е.** Аварийные отказы элегазовых выключателей при коммутациях компенсированных ВЛ 500–1150 кВ. «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО» № 10/2012.
3. **Евдокунин Г. А., Дмитриев М. В., Гринев Н.** Элегазовые выключатели 110–750 кВ. Особенности работы при отключении ненагруженных ВЛ с шунтирующими реакторами. Новости ЭлектроТехники 2012 г. № 4 (76).

*А. А. Иванов, асп;  
рук-ли. Я. Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
А. А. Волошин, к.т.н., зав. каф. РЗИАЭ (НИУ «МЭИ»)*

## **КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В РАБОЧИХ И АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ**

В наше время остро встает вопрос о освоении удаленных территорий, например, таких как Дальний Восток.

В связи с чем нами предложен концепт развития технологии MicroGrid, включая разработку как электрической части, так и тепловой части энергосистемы.

Вектор развития MicroGrid включает в себя такие показатели, как: экологичность, эффективность, адаптивность, экономичность.

Совмещать данные показатели при проектировке удается при сочетании уже имеющихся и новых разработок. В качестве одного из источников генерации предлагается использовать машины внешнего сгорания — двигатель Стирлинга. Генератор может работать от различного вида горючего (дрова, опилки, пропан-бутан, метан, биогаз). Генератор работает совместно с системой отопления, что значительно повышает КПД электротепловой системы.

Для повышения статической и динамической устойчивости MicroGrid предлагается адаптивный алгоритм АОПО. Управляющие воздействия и дозировка определяются одним из способов системного анализа — Саати. Метод позволяет объединить показатели, представленные выше, в единый комплексный измеримый показатель [1].

### **Литература**

1. **Т. Л. Саати.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. М.: Ленанд, 2016.

*А. В. Романова, Н. С. Лебедева, студенты;  
рук. А. А. Волошин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ**

Данная тема активно обсуждается в научном сообществе. Существует масса статей и книг, описывающих различные аспекты функционирования, проектирования, наладки систем защиты, эксплуатации микросетей. Это обусловлено многообразием возможных компоновок и составов таких систем, ведь их структура зависит не только от выгодных в данных условиях видов оборудования, но и может меняться в процессе эксплуатации при возникновении нежелательных режимов ли для достижения оптимального, наиболее выгодного экономически режима функционирования. Тенденции декарбонизации, оцифровки, децентрализации и электрификации приводят к нынешнему изменению энергетического ландшафта. Это включает в себя широкое распространение распределенных энергоресурсов. [1]

Одним из наиболее сложных аспектов в данной теме является их система защиты, которая играет фундаментальную роль в обеспечении целостности оборудования. Наличие распределенной генерации и возможность работы либо в сетевом режиме, либо в островном режиме приводят к неэффективности традиционных устройств защиты.

В процессе данной работы предполагается изучение особенностей функционирования микрогрид и способов реализации релейной защиты в таких сетях для создания интеллектуальной распределенной системы защиты. Полученный метод впоследствии будет опробован в программном комплексе.

Для реализации релейной защиты будут рассмотрены возможности сетей 5G. Благодаря этому можно будет обеспечить обмен информацией исполняющих органов и измерительных приборов.

После изучения возможных конфигураций и состава таких сетей, будет создана модель микрогрид. Полученный способ исполнения защиты впоследствии будет опробован в программном комплексе.

Таким образом, будет создана интеллектуальная система защиты, мониторинга, учёта и управления, где возможно изменять топологию сети в широких пределах, сохраняя или достигая требуемую степень надежности электроснабжения.

### **Литература**

1. **В. Н. Княгинина, Д. В. Холкина**, экспертно-аналитический доклад Энерджинет «Цифровой переход в электроэнергетике России» 2017 г. Москва



*Д. М. Саранов, М. С. Малютин, В. Д. Уксеков, студенты;  
Д. М. Бисеров, соиск.;  
рук. А. А. Лебедев, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ПРАВИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ РЗА ЦПС**

Согласно приоритетам, обозначенных Президентом Российской Федерации, и положений утвержденной в 2017 году национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» Минэнерго России при активном участии компаний ТЭК сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика». Данный проект направлен на преобразование энергетической инфраструктуры Российской Федерации посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для повышения ее эффективности и безопасности.

Одним из таких направлений проекта является создание цифровых подстанций. Цифровые подстанции в России переходят из пилотных проектов в полноценно работающие проекты. Для этого требуется стандартизация правил проектирования, наладки, обслуживания и эксплуатации цифровой подстанции.

В данной статье рассмотрены публикации по теме автоматизации проведения функциональных испытаний РЗА и АСУТП, перспективы применения их на цифровых подстанциях, на основании которых сделаны выводы о актуальности разработки системы автоматизированной проверки правильности электронной проектной документации РЗА ЦПС.

*М. С. Малютин, В. Д. Уксеков, Д. М. Саранов, студенты,  
Е. А. Волошин, соиск.;  
рук. А. А. Лебедев, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТАВА СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РЗА ПРИ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА СООТВЕТСТВИЕ УТВЕРЖДЕННЫМ ПРОЕКТНЫМ РЕШЕНИЯМ**

В настоящее время на территории РФ активно реализуются проекты новых цифровых подстанций (ЦПС), использующих протокол МЭК 61850 [1]. Внедрение данного протокола дает возможность связать все технологическое оборудование ПС единой информационной сетью, по которой передаются не только данные от измерительных устройств к терминалам РЗА, но и сигналы управления. Для передачи данных на ЦПС применяются протоколы GOOSE и MMS [2], а также прокол SV [3]. В процессе наладки цифровых РЗА используется специальный язык описания конфигурации устройств SCL для создания SCD файлов [4].

Данные нововведения значительно меняют процесс наладки и эксплуатации вторичного оборудования на ЦПС, персонал данных объектов должен иметь знания не только в области устройств РЗА, но и достаточно глубоко понимать АСУ. Во избежание возможных ошибок при наладке РЗА на ЦПС, а также для достоверного контроля со стороны заказчика, была разработана методика для оценки фактического состава сигналов цифровых комплексов РЗА и сравнения с утвержденными проектными решениями.

Основным критерием оценки по разработанной методике является сравнение перечня сигналов тестируемого поведения цифровых комплексов РЗА и АСУ ТП в соответствии с заданным технологическим сценарием проведения испытаний и эталонного перечня сигналов, формируемого с применением баз знаний нормативно-технической документации и методов логического вывода.

### **Литература**

1. ПАО «ФСК ЕЭС», СТО 56947007-25.040.30.309-2020, «Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС,» 2020.
2. ИЕС 61850-8-1, «Specific Communication Service Mapping (SCSM) — Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3,» 2011.
3. ИЕС 61850-9-2, «Specific communication service mapping (SCSM) — Sampled values over ISO/IEC 8802-3,» 2020.
4. ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009, «Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях,» 2009.

Д. С. Журавкова, асп.: рук. А. Г. Темников к. т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ВИДА МОДЕЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОВ НА ИНИЦИИРОВАНИЕ РАЗРЯДА МЕЖДУ ИСКУССТВЕННЫМИ ГРОЗОВЫМИ ОБЛАКАМИ



**Рис. 1.** Формирование канальных разрядов между разноименно заряженными облаками с участием групп гидрометеоров

На сегодняшний день ключевые механизмы формирования внутриоблачной молнии остаются неясны. Предполагается, что наличие массивов крупного града внутри грозовых облаков может быть влияющим фактором развития облачных разрядов [1].

Экспериментальный комплекс «Гроза» позволяет создавать две искусственных грозовых ячейки (ГЯ) положительной и отрицательной полярности и исследовать процессы формирования разряда между ними, регистрировать оптическое и электромагнитное излучение от возникающих разрядных явлений.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований влияния вида групп модельных гидрометеоров (ГМ) размером 2–5 см с различными коэффициентами усиления поля (К1:  $k_{yc}=3-4$ ; К2:  $k_{yc}=5-9$ ; К3:  $k_{yc}=10-19$ ; К4:  $k_{yc}=20-49$ ), вводимых в промежуток между облаками, на инициирование разряда между ними.

Анализ результатов эксперимента показал, что размеры и форма модельных ГМ существенно влияют на вероятность инициирования ими вспышки стримерной короны, которая в дальнейшем может перейти в объемный лидер. Наибольшая вероятность инициирования канальных разрядов в системе «отрицательная искусственная ГЯ — положительная искусственная ГЯ — земля» достигается при использовании ГМ К2 — 53% и К3 — 62%, а наименьшая вероятность наблюдалась при использовании ГМ К4 — 3%.

### Литература

1. Rakov V.A. Electromagnetic Methods of Lightning Detection, Surveys in Geophysics (Springer), Vol. 34, No. 4, 2013, DOI 10.1007/s10712-013-9251-1

*А. Г. Груздов, студ.; Е. А. Волошин, соиск.;*  
*рук. А. А. Волошин, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЭ С ОЦЕНКОЙ УЩЕРБОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ГРОВОВЫХ ЯВЛЕНИЯХ**

Погода напрямую влияет на электроэнергетическую отрасль: неблагоприятные метеорологические условия, в частности грозовые явления, оказывают негативное воздействие на энергосистему.

В исследовании следует разработать облачный сервис прогнозирования отключения потребителей ЭЭ. Для этого присутствует модель энергосистемы, в которую по каналам телемеханики приходят данные. Для сбора данных и мониторинга в реальном времени будет использоваться система грозопеленгации. В прошлом исследовании нами была разработана и испытана аппаратная часть комплекса регистрации грозовых разрядов. Был обоснован выбор аппаратуры и места установки. А установка системы была выполнена так, что были исключены все возможные помехи. Был осуществлен сбор данных. И с помощью первой геодезической задачи данные были размещены на онлайн карте.

Особое внимание следует обратить на Воздушные линии (ВЛ): они считаются наиболее подверженными отключениям, и от них зависит эффективность и бесперебойность электроснабжения потребителей. Для прогнозирования отключений следует накопить показатели надежности по каждому элементу. [1] При анализе было замечено, что, когда идет грозовой фронт, показатели, которые рассчитывали как среднегодовыми, в определенные моменты времени начинают изменяться. Имея такую систему, можно спрогнозировать траекторию и где, какая линия отключится. И, используя методы статического определения показателей надежности, можно выявить зависимость изменения, и в определенный момент регулировать показатели надежности и, исходя из этого, можно заранее перебазировать материально технические ресурсы, чтобы при возникновении отказа люди были готовы устранить данную проблему и таким образом снизить время отключения.

### **Литература**

1. Н. Н. Денисова, Ю. А. Шатова, В. Я. Горячев, Т. Ю. Бростилова Детализация математической модели распределения количества технологических нарушений на ВЛ 110 кВ // Электроэнергетика глазами молодежи: межд. конф. (Иваново, 9–13 ноября 2015). Иваново: Изд-во ИГЭУ им. В. И. Ленина, 2015. С. 442–445.

*А. Д. Гусейнов, студ.; рук. Т. Г. Климова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ОСТАТОЧНОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА И НАСЫЩЕНИЯ ТТ**

На сегодняшний день почти все виды устройств РЗА получают информацию посредством электромагнитных трансформаторов тока (ТТ), трансформаторов напряжения (ТН) и соединительных кабелей. Трансформаторы тока являются теми элементами релейной защиты, где передача информации, т. е., значения тока, может существенно искажаться в процессе эксплуатации под влиянием множества таких факторов, как: внешние электромагнитные воздействия, высокий ток намагничивания в сердечнике ТТ, обусловленный током КЗ, температурные и механические воздействия на ТТ, вторичная нагрузка. Следовательно, именно от его состояния будет зависеть правильная работа множества типов защит в РЗА. В данной работе рассматриваются причины неправильной работы дифференциальной защиты нулевой последовательности секционной перемычки вследствие насыщения ТТ ДЗНП на шинах КРУ 20 кВ ПС 220 кВ Ваганьковская. Производится моделирование системы и ТТ с соответствующей характеристикой намагничивания в ПК Matlab. Основной задачей данной работы является выявление всех возможных вариантов насыщения ТТ ДЗНП вследствие влияния вышеперечисленных факторов [1], реализованных в ПК Matlab, и корректное определение тех мероприятий, которые снизят вероятность неправильной работы ДЗНП из-за насыщения стали ТТ.

### **Литература**

1. **Кондорский Е. И.** К теории устойчивости магнитных состояний ферромагнитных веществ в процессе намагничивания. — ЖЭТФ, 1959.

*М. Рммо, аспирант; рук. С. И. Хренов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА КАРТЫ СТЕПЕНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЛ И ОРУ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Одной из наиболее важных проблем при эксплуатации электрических сетей в Сирийской Арабской Республике является проблема загрязнения изоляторов на линиях высокого напряжения в связи с увеличением количества источников промышленного загрязнения, с одной стороны, и необходимостью надежного электрического питания для работы всех секторов экономики страны, с другой.

В соответствии с [1], в виде исключения, допускается составление карт степеней загрязнения (КСЗ) на основе характеристик источников загрязнения в соответствии с главой 1.9 ПУЭ-7. Как известно, в Сирии уже несколько лет идет война с терроризмом, что не дает возможности собрать опыт эксплуатации ВЛ и ОРУ. Поэтому, согласно [1], предварительная КСЗ будет составлена на основе характеристик источников промышленного загрязнения.

Промышленный район Шейх-Наджар входит в промышленную зону г. Алеппо, который является крупным индустриальным и экономическим центром Сирии. Он расположен на северо-востоке от г. Алеппо, в 15 км от города. На территории промышленного района Шейх-Наджар находятся 1 подстанция напряжением 230 кВ и 4 подстанции напряжением 66 кВ. Виды отраслей промышленности подразделяются в следующем порядке: пищевая промышленность, текстильная промышленность, машиностроение, производства черной металлургии и химическая промышленность.

Степень загрязнения изоляции (СЗИ) в зоне уносов действующего или сооружаемого предприятия определялась по наибольшему годовому объему продукции с учетом перспективного плана развития предприятия. Объем выпускаемой продукции при наличии на одном предприятии нескольких источников загрязнения (цехов), определялся суммированием объемов продукции отдельных цехов.

На основе расчётного объёма выпускаемой продукции и расстояния от источника загрязнения, в соответствии с [1], была составлена электронная локальная карта степеней загрязнения (ЛКСЗ) с использованием программы Автокад, что позволяет непосредственно выбирать уровни изоляции, так как каждой СЗ соответствует нормированное значение удельной длины пути утечки ( $\lambda$ ).

### **Литература**

1. **Правила** устройства электроустановок, 7 издание, раздел 1, глава 1.9 «Изоляция электроустановок», М., «НЦ ЭНАС», 2002 г.

*А. В. Пахтусов, студ.; рук. А. А. Лебедев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ТРЕХ МИКРОГРИДОВ, СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ЭНЕРГОРОУТЕРОМ**

В современной энергетике все популярнее становятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ), что и повлияло для продвижения и реализации концепции микрогридов (MicroGrid).

Сам микрогрид (MicroGrid) представляет из себя локальную систему, состоящую из трех ключевых компонентов: генерации, хранения и потребления. В него также входит объединяющая их электрическая сеть и объединенная система управления. Микрогрид можно назвать инструментом для создания конкретной системы максимально ориентированной на нужды конкретных ее частей с точки зрения их потреблений к энергетике и ее качественных характеристик [1].

Перспективным направлением развития интеллектуальных сетей является применение в системах электроснабжения (СЭС) энергетических роутеров (ЭР). Энергорouter позволяет выполнять следующие функции: управление потоками электроэнергии; осуществление обмена информацией; интеграция установок малой распределённой генерации. Кроме этого внедрение ЭР позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей и качество электроэнергии с возможностью получения дополнительных доходов от реализации избыточной энергии возобновляемых источников энергии [2].

В данной работе была разработана модель трех микрогридов, связанные между собой энергорouterами. Для это модели за основу была взята оригинальная схема Энергокампуса «МЭИ». Также подробно рассматриваются суть микрогрида и его роль в развитии области современной энергетике

### **Литература**

1. В. П. Куприяновский, Ф. Ю. Фокин, С. А. Буланча, Ю. В. Куприяновская Микрогриды — энергетика, экономика, экология и ИТС в умных городах // International journal of open information Technologies 2016 г. с. 10–19
2. Арсентьев Г. О., Булатов Ю. Н., Крюкова А. В. Применение энергорouterов в системах электроснабжения с распределённой генерацией // Электроэнергетика глазами молодежи — 2017, 2017 г. с 143–146

*В. И. Ожогин, студ.; рук. И. Е. Калугина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОСХОДЯЩЕГО ЛИДЕРА С НАЗЕМНОГО ОБЪЕКТА**

Одной из проблем в энергетике, не решенной до конца на сегодняшний день, является проблема молниезащиты. Особенно актуален этот вопрос по отношению к протяженным и наиболее уязвимым объектам электроэнергетики, таким как линии электропередач (ЛЭП). Несмотря на выполнение молниезащиты по действующим стандартам, удары молнии продолжают наносить значительный ущерб энергетическим объектам.

Действующие нормативные документы по молниезащите воздушных линий основываются на традиционных подходах (электрогеометрические построения, полуэмпирические зависимости), основные положения большого количества из них не обновлялись уже несколько десятков лет. Они часто не позволяют объективно оценить надежность защиты объектов и получить достоверную информацию о влиянии различных факторов на их молниезащищенность.

В представляемой методике моделируется трехмерная картина развития отрицательной молнии. В качестве наземного объекта выступают линии электропередач различных классов напряжения и геометрии. Методика учитывает многообразие возможных траекторий развития нисходящего лидера по отношению к земле, и вероятностный характер всех параметров нисходящего лидера: траектории движения, размеры ступеней, переносимый заряд). Так же учитывается возможность практически одновременного возникновения и распространения встречных восходящих разрядов с различных элементов наземной конструкции. Для этого на рассматриваемых объектах определяют места с наибольшей вероятностью возникновения встречного лидера. В основу методики закладывается расчет заряда импульсной стримерной короны у объекта, который будет определять вероятность перехода разряда в восходящий лидер, который в последствии определяет место удара молнии [3].

### **Литература**

1. **V. Cooray.** Lightning protection. IET Power and Energy Series 58. Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2010
2. **Темников А. Г., Черненский Л. Л., Орлов А. В., Герастенок Т. К.** Исследование процессов формирования восходящего лидера с использованием искусственных заряженных аэрозольных облаков. Вестник МЭИ, № 4, 2013, с. 31–35.
3. **Темников А. Г., Гундарева С. В., Калугина И. Е., Герастенок Т. К.** О критерии возникновения восходящего лидера с наземных объектов. Письма в ЖТФ, 2014, том 40, вып. 3.



*А. А. Баранов, студ.; А. С. Холодов, соиск.;*  
*рук. А. А. Волошин, к. т. н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ РЗА И ПРИСОЕДИНЕНИЙ 6–220 КВ**

В настоящее время происходит стремительное развитие цифровизации в энергетике. В процессе появления цифровых подстанций (ЦПС) также возникает необходимость тестирования цифровой релейной защиты и автоматики (РЗА), установленной на этих подстанциях [1].

Цифровые подстанции имеют структуру, которая базируется на использовании серии стандартов МЭК 61850. Данная серия в свою очередь предусматривает стандартные средства диагностики каналов связи между устройствами [2]. Однако, помимо диагностики каналов связи необходима диагностика РЗА силового оборудования.

Целью работы является разработка системы автоматического функционального тестирования, которая состоит из упрощённой модели электроэнергетической системы (ЭЭС), «цифрового двойника» РЗА ЦПС и специально-разработанного программного обеспечения (ПО). Программные модули реализуют логические узлы по стандарту МЭК 61850 на языке программирования Java, а передача осуществляется посредством GOOSE-сообщений и SV-протоколов с получением обратной связи от тестируемого устройства [3]. Испытания РЗА проводятся на схеме «цифрового двойника». Сбор данных о состоянии объекта обеспечивает доступ к измерениям для всех функций РЗА.

Такая система позволяет моделировать различные режимы работы сети и многочисленные внутренние и внешние повреждения, а также удалённо получать всю необходимую информацию, такую как величины сил токов и напряжений в наблюдаемых узлах. Данный набор функций даёт возможность эффективно оценивать работоспособность РЗА и производить диагностику в режиме реального времени.

### **Литература**

1. **Иванов С. В., Буров А. В.** Централизованная релейная защита подстанции 110/35/6 кВ на принципах системной интеграции алгоритмов защит в едином устройстве. «Электроэнергия. Передача и распределение» № 5 (44) Сентябрь-Октябрь 2017 г.
2. **ГОСТ Р МЭК 61850-7-3-2009.** Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 3. Классы общих данных.
3. **Мочалов Д. О., Законьшек Я. В., Шамис М. А.** Комплексы моделирования в реальном времени современных энергосистем. «Релейная защита и автоматизация», № 1, 2013.

*А. А. Сиделев, А. К. Рыжков, студенты;  
рук. А. А. Волошин, к. т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ТРЕНДОВ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Широкое распространение в мире получила идея разработки и внедрения «цифровых подстанций» (ЦПС), основанная на применении стандарта МЭК 61850. Развитие систем электроснабжения делает актуальным создание новых, более совершенных принципов построения релейной защиты и автоматики. На сегодняшний день существуют различные решения, позволяющие построить интеллектуальные системы защиты.

В работе рассматривается реализация защиты с применением централизованной архитектуры построения [1], которая может позволить снизить затраты как на оборудование, так и на эксплуатацию, а также повысить селективность защит. Также рассматривается система защиты на основе мультиагентной системы [2]. Рассмотрено исследование надежности систем релейной защиты в реальном времени [3].

На основе данного анализа окончательно ставится задача разработки интеллектуальной системы защиты цифровых подстанций, определяется текущий уровень состояния интеллектуальных систем защиты, рассматриваются проблемы и перспективные направления, что в дальнейшем поможет в создании интеллектуальной электроэнергетической системы.

### **Литература**

1. **Куликов А. Л., Вуколов В. Ю., Колесников А. А.** Централизованная дифференциальная защита цифровой подстанции с применением метода двойной записи // «Вестник ИГЭУ» Вып. 2 2018 г.
2. **Sampaio F. C., Leão R. P. S., Sampaio R. F., Melo L. S., Barroso G. C.** A multi-agent-based integrated self-healing and adaptive protection system for power distribution systems with distributed generation // Electric Power Systems Research, 188, 106525.
3. **Lu X.-N., Wang H., Liu H.-T., Xu C., Zhang L.-W., Jin Z.-S.** Research on Real-time Reliability of Relay Protection System in Intelligent Substation // Journal of Physics: Conference Series, 1601, 022007.

**Секция 57**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**  
**Theoretical basis of electrical engineering**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., член-кор. РАН Бутырин Павел Анфимович*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Жохова Марина Павловна*

Д. Е. Жохов, студент; М. В. Карпунина, аспирант;  
рук. О. И. Артюхов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

## ФИЗИЧЕСКИЙ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ТОО В УСЛОВИЯХ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ

Учебный год 2020/2021 года поставил сложные задачи по организации лабораторного практикума, связанные с организацией обучения по двум формам: очной и дистанционной (ДО). Причем численность групп ДО постоянно менялась, в течение семестра студент мог выполнять несколько работ в физической лаборатории, остальные работы проводились как компьютерный эксперимент. Использование компьютерных лабораторных работ, разработанных ранее для учебного процесса, оказалось невозможным, так как работы проводились в учебном классе кафедры ТОО с использованием лицензионного программного обеспечения. В докладе определены основные принципы организации лабораторного практикума с учетом двух форм обучения в сжатые сроки перехода от одной формы к другой. Приведены примеры компьютерных лабораторных работ, имеющими в основе рабочее задание физического эксперимента, но с учетом особенностей и возможностей математического моделирования.

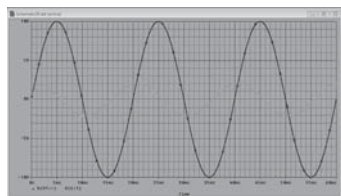
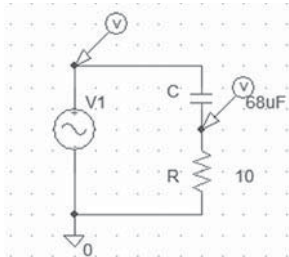


Рис. 1. Компьютерный эксперимент

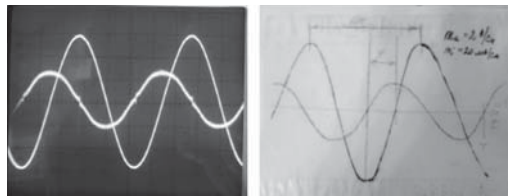
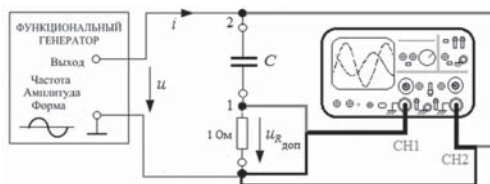


Рис. 2. Физический эксперимент

### Литература

1. Жохов Д. Е., Карпунина М. В. Компьютерные модели в учебных задачах электротехники. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020, с. 1081.

*А. Н. Овчаренко, П. А. Труханов, студенты;  
рук-ли И. С. Козьмина, к. т. н., доц.;  
М. П. Жохова, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТРАЖЁННЫХ ВОЛН ПРИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ ПАДАЮЩЕЙ ВОЛНЫ**

В теории однородных длинных линий без потерь при изучении методов расчёта переходных процессов в основном используются методики, основанные на определении отражённых и преломлённых волн токов и напряжений в узлах сопряжения линий или отражённых волн в месте соединения линии с нагрузкой. Используется, в частности, операторный коэффициент отражения [1]. При этом предельными случаями процессов отражения считаются варианты короткозамкнутой и разомкнутой на конце линии, в соответствии с чем коэффициент отражения традиционно полагается лежащим в пределах от  $-1$  до  $1$ .

В учебной литературе падающие волны обычно рассматриваются только с прямоугольным фронтом ( $U_0$ ). Авторам в своих учебных расчётах приходилось рассматривать волны с экспоненциальным фронтом вида  $U_0 e^{-at}$  и наблюдать случаи, когда значение волны напряжения (тока), отражённой от конца линии с идеальной ёмкостной нагрузкой, оказывалось превышающим значение падающей волны, то есть коэффициент отражения оказывался численно больше  $1$ .

Такие неожиданные результаты побуждают к исследованию других возможных вариантов отражения волн при экспоненциальном фронте падающей волны: от идеальной ёмкостной и индуктивной нагрузки, от активно-реактивных нагрузок. При этом, учитывая энергетические законы, полагается, что результирующее напряжение (ток) на нагрузке в любом случае не будет превышать удвоенного значения фронта падающей волны:  $u(t) \leq 2U_0$ ,  $i(t) \leq 2i_{\text{пад}}(t)$ . Также представляется интересным рассмотрение особых, «резонансных» случаев формирования отражённой волны.

Теоретическое исследование может оказаться полезным при практических расчётах распространения волн в линиях электропередач ввиду наличия значительных реактивных нагрузок, например, компенсирующих устройств, содержащихся в электрических сетях [2].

### **Литература**

1. **Теоретические основы электротехники:** В 3-х т. Учебник для вузов. Том 2. — 4-е изд. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — 576 с.: ил.
2. **Идельчик В. И.** Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 592 с.: ил.

*К. С. Рослова, студент;  
рук-ли Т. А. Васьковская, д.т.н. доц.;  
М. П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## РАСЧЕТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ НАЛИЧИИ МНОЖЕСТВЕННЫХ НЕСИММЕТРИЙ

Метод симметричных составляющих не ориентирован на решение задач большой размерности при наличии многократных КЗ и требует тщательной экспертной подготовки к расчету. Представление трехфазных цепей с динамической нагрузкой в виде соединения макроэлементов значительно упрощает описание трехфазных цепей [1, 2]. При расчете аварийных режимов даже при наличии множественных несимметрий сохраняется простота и наглядность описания, так как аварийный участок представляется в виде соответствующей ветви, встраиваемой в трехфазную цепь (рис. 1). Разработанный подход иллюстрируется расчетом несимметричных и аварийных режимов сложной трехфазной несимметричной цепи с двумя синхронными генераторами, одной динамической нагрузкой и одной статической нагрузкой (рис. 2). Расчет проводится для четырехпроводной и трехпроводной трехфазной цепи при однофазных и межфазных коротких замыканиях и обрывах фаз.

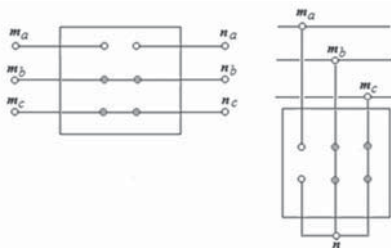


Рис. 1. Модель аварийного участка

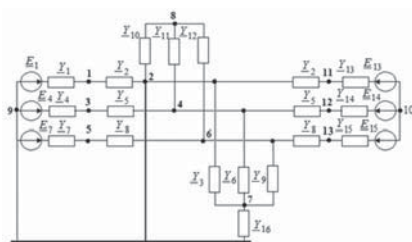


Рис. 2. Короткое замыкание фазы А на землю

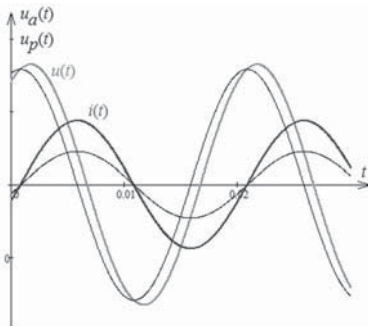
### Литература

1. **М. Jereminov** An Equivalent Circuit Formulation for Three-Phase Power Flow Analysis of Distribution Systems // Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2016 IEEE/PES. — IEEE, 2016. — Pp. 1–5.
2. **К. С. Рослова** Машинный расчет трехфазных цепей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать шестая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (12–13 марта 2020 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2020, с. 1079

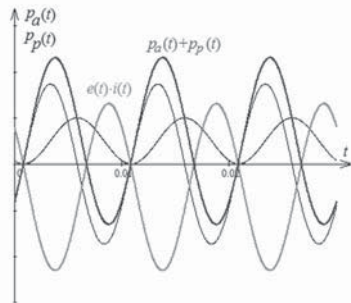
*Р. И. Володкин, студент;  
рук. М. П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## ТЕОРЕМА ТЕЛЛЕДЖЕНА

Теорема Телледжена — одна из центральных теорем Теории цепей [1]; применима к любой электрической цепи с сосредоточенными параметрами (линейной, нелинейной, параметрической) в установившемся и переходном режимах. Из теоремы Телледжена вытекает ряд важнейших следствий, важнейшим из которых является баланс активных мощностей, с ее помощью можно исследовать возможность возникновения незатухающих колебаний в цепях с различными видами нелинейных элементов. Анализ энергетических процессов с использованием аппарата мгновенной мощности применяется в задачах оценки энергопроцессов в наиболее общем виде [2]. В докладе рассмотрены способы доказательства теоремы Телледжена, в том числе с использованием разложения мгновенного тока и мгновенного напряжения на активную и реактивную составляющие. Приведены примеры, иллюстрирующие выполнение теоремы Телледжена в учебных задачах ТОО для периодических токов и напряжений, в том числе с использованием аппарата ряда Фурье (рис. 1 и рис. 2).



**Рис. 1.** Разложение на активную и реактивную составляющие



**Рис. 2.** Иллюстрация выполнения теоремы Телледжена

## Литература

1. **К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин.** Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 1 — СПб.: Питер, 2003.
2. **Загирняк М. В.** Направления развития теории мгновенной мощности и ее применение в задачах электромеханики / М. В. Загирняк, Д. И. Родькин, А. П. Черный // Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». — Одесса, 2011. — С. 347–354.

*А. Ю. Горячкин, А. А. Кутенкова, Е. С. Шиломагина, студенты;  
рук-ли Л. В. Алексейчик, д.т.н., проф.;  
М. П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЯХ И НЕСОВЕРШЕННОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО КАБЕЛЯ**

Потеря мощности в кабельных линиях происходит в токоведущих частях (жиле и оболочке) кабеля и в несовершенной изоляции. Вторичный параметр коэффициент ослабления  $\alpha$  [Нп/м] учитывает потери в проводящих частях кабеля и в изоляции:  $\alpha = \alpha_M + \alpha_D$ . Разделение коэффициента ослабления на две составляющие позволяет сделать вывод о соотношении потерь в токоведущих частях и в несовершенной изоляции. В работе исследуется методика определения  $\alpha$ ,  $\alpha_D$  и  $\alpha_M$  с использованием измерения комплексных коэффициента прохождения  $S_{12}$ , коэффициента отражения  $S_{11}$  матрицы рассеяния кабеля и соотношения для нормирования уровня потерь в абсолютных значениях в виде  $(1 - S_{12}^2 - S_{11}^2)$  [1]. Эксперимент проведен на частоте  $f=2,4$  ГГц для кабеля с заданными геометрическими размерами и параметрами проводящей и диэлектрической среды. Для сравнения теоретических и экспериментальных данных были использованы формулы расчета вторичных параметров высокочастотных электрических кабелей с учетом явно выраженного поверхностного эффекта [2]. Проведение теоретических расчетов по заданным параметрам позволило сделать вывод, что методика определения  $\alpha$ ,  $\alpha_D$  и  $\alpha_M$  по экспериментальным данным может быть использована в широком диапазоне частот.

	$\alpha_D$ , [Нп/м]	$\alpha_M$ , [Нп/м]
эксперимент	0,0167	0,07186
теория	0,0162	0,08425

### **Литература**

1. Сапронов А. Г., Голышков А. А. Анализ влияния тангенса угла диэлектрических потерь изоляции на потери в длинных линиях. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: XXV МНТК (14–15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2019, с. 345.
2. Ефанов В. И. Электрические и волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие. — ТОМСК: ТУСУР, 2012. — 150 с.



*К. В. Шиш, В. В. Павлюк, студенты;  
рук. М. А. Силаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФАЗИРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Обеспечение качества электроэнергии (КЭ) — один из наиболее актуальных вопросов в современной электроэнергетике [1]. Для его решения необходимо проводить мониторинг КЭ, что неразрывно связано с подключением и настройкой измерительных приборов, в частности, их корректной фазировкой.

Практика инструментального контроля КЭ в распределительных электрических сетях показывает, что идентификация фаз и правильное подключение измерительных каналов напряжения и тока может быть непростой задачей. Как правило, это связано с некорректной маркировкой фаз (или ее отсутствием), а также с территориальной удаленностью измерительных цепей тока и напряжения. В результате, возможны сложности при настройке средств измерений и потенциальные ошибки их подключения, ведущие к неверным выводам о состоянии КЭ. Для исключения подобных ситуаций были разработаны методические рекомендации по фазировке средств измерения на примере анализатора КЭ типа Ресурс UF2M. Рекомендации основаны на поиске корректного варианта подключения прибора в зависимости от различного набора исходных данных, таких как: фактические значения угла нагрузки, схема измерения (трех- или четырехпроводная) и результаты текущего контроля.

Фазировка прибора производится по напряжению и по току. В результате этого, например, только в четырехпроводных сетях возникает 48 вариантов подключения трехфазного анализатора показателей КЭ. На основании сравнения векторных диаграмм, построенных по показаниям прибора, с векторными диаграммами, соответствующими фактическому режиму сети, были получены результаты для каждого варианта подключения в трех- и четырехпроводных сетях при различном характере нагрузки, а именно:

- табличные данные, в которых каждому фактическому набору показаний соответствует последовательность переключений;
- алгоритм выбора перестановки измерительных каналов на основании текущих показаний прибора.

Использование полученных результатов в рамках инструментального контроля КЭ позволит избежать ошибок при его измерениях и сделать первый шаг к обеспечению его нормативного уровня в электрической сети.

### **Литература**

1. **Карташев И. И., Тульский В. Н.** Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2006.

*Д. В. Егоров, студент; рук-ли Д. В. Михеев, к.т.н., доц.;  
М. П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## ДВУХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В докладе рассматриваются двухфазные системы переменного тока. Приводится историческая справка создания и использования двухфазных систем (рис. 1). Проводится сравнение практического использования двухфазных и однофазных систем переменного тока в электротехнике и электроэнергетике и причины преимущественного применения трехфазных систем. Приведены примеры практического использования двухфазных систем в современной электротехнике (автоматическое регулирование мостовых и компенсационных схем, кулеры персональных компьютеров и т. д.). Рассмотрен принцип преобразования симметричной трехфазной системы в двухфазную с помощью трансформаторной системы Скотта (рис. 2) и способ присоединения двухфазного двигателя к однофазному источнику. Проведен расчет коэффициентов несимметрии токов и напряжений трехфазного двигателя при подключении к двухфазной системе, построена временная диаграмма мгновенной мощности трехфазного двигателя в этом режиме.

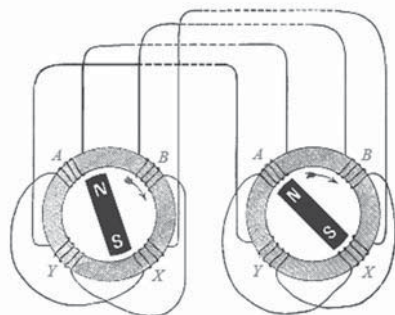


Рис. 1. Двухфазная система Н. Тесла

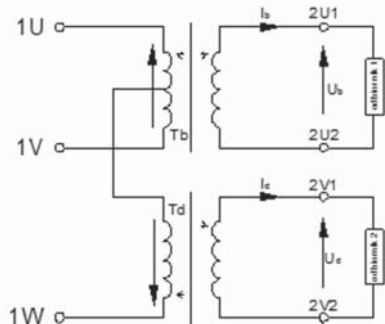


Рис. 2. Трансформатор Скотта

### Литература

1. К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 1 — СПб.: Питер, 2003.
2. Thomas J. Blalock The first polyphase system — a look back at two-phase power for ac distribution, in IEEE Power and Energy Magazine, March-April 2004, ISSN 1540-7977 pg. 63

*А. В. Кондрашов, А. С. Николаев, А. В. Пушкарский, студенты;  
рук. Г. Г. Гусев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СКАЧКООБРАЗНОМ ИЗМЕНЕНИИ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА КАК ОСНОВЫ КАТКОНА**

Анализ переходных процессов в устройстве ограничения токов короткого замыкания на основе каткона как катушке-конденсаторе, [1–3], выполнен в рамках предложенной математической модели с введением понятий глобального и локального времени. Коммутации в эквивалентной синтезированной схеме относительно входа каткона, как системы с распределенными параметрами, определяют скачкообразное изменение добротности. Принятая эквивалентная схема упрощает алгоритм построения аналитического исследования на основе классического метода решения. Предложенная модель позволила получить аналитическое решение относительно входа каткона, при скачкообразном изменении граничных условий на выходе каткона. Проведен анализ решения переходных процессов в катконе с учетом потерь в режиме резонанса при резистивной согласованной нагрузке. Полученные зависимости постоянных в найденных решениях, как функций моментов коммутаций, упрощают оптимизацию переходных процессов тока на входе, как по уровню, так и по длительности. Достоверность полученных решений в установившихся процессах показана при анализе уровней токов и фазовых соотношений их относительно напряжений на входе до и после коммутации. В переходном процессе, из полученных результатов устанавливаются соблюдение законов коммутаций и сравнение найденных значений со значениями, полученными при альтернативном построении решения. Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 19-08-00730А.

### **Литература**

1. **Бутырин П. А., Гусев Г. Г., Михеев Д. В., Карпунина М. В., Кваснюк А. А., Шакирзянов Ф. Н.** Моделирование переходных процессов в катушке-конденсаторе при импульсном воздействии // Известия РАН. Энергетика. 2019. № 1. С. 109–122.
2. **Патент 2660177** Российская Федерация, МПК H02H 9/02 (2006.01). Устройство ограничения токов короткого замыкания // Бутырин П. А., Гусев Г. Г., Михеев Д. В., Сиренко В. В., Шакирзянов Ф. Н., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2017131883; заявл. 12.09.2017, опубл. 05.07.2018. Бюл. № 19.
3. **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.

**Секция 58**  
**ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО СТУДЕНТОВ**  
**СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО**  
**ОБРАЗОВАНИЯ**  
**Technical creativity of students of secondary**  
**vocational education**

---

*Председатель секции: Файрушин Николай Исакович —  
заместитель директора филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково —  
Конаковского энергетического колледжа*

*Секретарь секции: Ключева Людмила Вадимовна*

*А. А. Сидоренко, студент; П. А. Галенков, студент;  
рук. Н. И. Файрушин, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Конаково (КЭК)*

## **ПОЧЕМУ ЗЕЛЁНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ГРЯЗНЕЕ ОБЫЧНОЙ?**

**Зелёная энергетика** — часть энергопроизводящей системы, использующая возобновляемые источники энергии. Сейчас в мире около 1% электроэнергии вырабатывается солнечными установками и чуть более 2% — ветряными установками. Установленные мощности по использованию солнечной энергии и ветра удваивается за каждые четыре года. В Европе тренд отрасли новой энергетики сегодня уже нисходящий. Китай планирует к 2040 году фактическое производство «зелёной» энергии в объёме 250 гигаватт. В России на долю «зелёной» энергетики приходится около 2%. По плану Правительства РФ к 2020 году этот показатель должен увеличиться до 4,5%.

Идея использования возобновляемых источников энергии, безусловно, звучит привлекательно, но само название обманчиво. Большинство возобновляемых источников энергии, за исключением древесины и навоза, на самом деле сильно зависят от ископаемого топлива.

Все альтернативные источники тянут за собой одну «грязную» проблему. Это **разрывы энергосети**.

Ветряки не работают в штить, солнечные панели ночью. А нагрузка на энергосеть постоянная. Поэтому если у нас большая доля альтернативных источников, то в сети могут быть разрывы когда энергетика производит меньше потребления и регион или страна страдает от этого. Есть довольно много мест где нельзя останавливать подачу электричества, от реанимации, до промышленных печей.

И для закрытия этих дыр, требуется огромное количество аккумуляторных мощностей, которые будут аккумулировать и хранить энергию на момент разрыва энергосети. А современные аккумуляторы довольно грязны в производстве, имеют низкий КПД и требуют специальной утилизации, иначе будут отравлять окружающую среду.

Мы решили попробовать создать модель, похожую по своей работе на современные ветряные электростанции (<https://cloud.mail.ru/public/3Gtp/iEYfqURuR>).

Самая главная и большая проблема зеленой энергетики, это перекачивания инвестиций из реально эффективных и перспективных сфер типа **ядерной и термоядерной энергетики**, в заведомо **бесперспективную зеленую**.

### **Литература**

1. <https://zen.yandex.ru/media/id/5d0f1efcf56f>
2. <https://aftershock.news/?q=node/902676&full>

*А. С. Свирин, студент; С. В. Прик, студент; рук. С. Н. Золина, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Конаково (КЭК)*

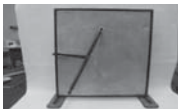

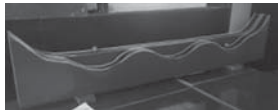


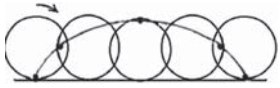
## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ С ЦЕЛЬЮ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Мир кривых гораздо разнообразнее и богаче мира точек, но только математики XX века сумели овладеть его богатством. Р. Винер.

В ходе проведения мотивационной работы с целью практического применения знаний в области математики студентами Конаковского энергетического колледжа созданы демонстрационные модели, отражающие наглядное проявление математических законов.

Рассматриваются следующие математические модели, созданные в ходе самостоятельной инициативной практической работы студентов (табл. 1).

**Таблица 1.** Примеры демонстрационных моделей Музея технического творчества Конаковского энергетического колледжа

	Гиперboloид вращения	Брахистохрона	Циклоида
Демонстрационная модель			
Расчетный чертеж			
Расчетная формула	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$	$\frac{1}{\sqrt{2g}} \int_a^b \sqrt{\frac{1 + (y')^2}{y}} dx \rightarrow 0$	$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \frac{2r - y}{y}$

### Литература

1. **Берман Г. Н.** «Циклоида» М., Наука, 1980, 112 с.
2. **Васильев Н. Б., Гутенмахер В. Л.** «Прямые и кривые» издательство «Наука», М. — 1970.
3. **Гельфанд И. М., Глаголева Е. Г., Кирилов А. А.** Метод координат. Изд-во «Наука». М. — 1970.

**Секция 59**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ**  
**Electric power industry of Central Asia**

---

*Председатель секции: к.т.н. Исмоилов Фирдавс Олимшоевич —  
и.о. доцента Таджикского технического университета  
имени академика М.С. Осими*

*Секретарь секции: к.т.н. Ниёзи Сироджиддин Ражаббоки —  
ассистент Таджикского технического университета  
имени академика М.С. Осими*

*К. У. Муродов, студ.;*  
*рук. С. Р. Ниёзи, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–500 кВ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ ОАХК «БАРКИ ТОЧИК» РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Уровень потерь электроэнергии при её передаче, распределении, и тенденции его изменения являются важнейшими показателями технико-экономического состояния электрических сетей и уровня их эксплуатации, также отражают энергетическую эффективность передачи и распределения электроэнергии во всех странах мира и в том числе в Республике Таджикистан [1].

При этом, в данной работе приведены основные аспекты, результаты структурного анализа и оценка потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 35–500 кВ национальной энергетической компании ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан.

В соответствии [2,3] приведены сведения по количеству и установленной мощности трансформаторов понижающих подстанций и протяженности линий электропередачи высоковольтных электрических сетей республики Таджикистан с разбивкой по классам напряжений. В ходе структурного анализа выявлена резкая неравномерность распределения электрических станций и основных потребителей по территории страны.

Далее представлена структура технических потерь электроэнергии по классам напряжений и видам потерь. Значения составляющих потерь сопоставлены со среднестатистическими значениями в электрических сетях России.

Выявлены существенные отличия в соотношениях нагрузочных и условно-постоянных потерь в электрических сетях Таджикистана и России. Объяснена высокая доля нагрузочных потерь электроэнергии в линиях электропередачи напряжением 220 кВ.

### **Литература**

1. **Шведов Г. В., Сипачева О. В., Савченко О. В.** Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение / Под ред. Ю. С. Железко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.
2. **Информация** за 2019 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] <http://www.barqitojik.tj> (Дата обращения 03.10.2020 г.).
3. **Чоршанбиев С. Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.



*Ф. Б. Умарова, магистр;  
рук. С. Р. Ниёзи, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **К ВОПРОСУ АНАЛИЗА, ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОАО «ДУШАНБИНСКИЕ ГОРОДСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»**

Город Душанбе день за днем развивается, в связи с этим постоянно увеличивается объем потребляемой энергии. В свою очередь увеличивается уровень потери электроэнергии в электрических сетях.

По данным [1] потерь электроэнергии на уровне 10% считается максимально допустимым с точки зрения физической транспортировки. Но по существу в электрических сетях ОАО «Душанбинские городские электрические сети» уровень технических потери электроэнергии составляет в порядке 14–18% что существенно превышает даже максимально допустимые значения [2,3]. В соответствии с этими данными, в работе проводится анализ, оценка состояния технических потерь электроэнергии в городских распределительных сетях г. Душанбе.

Для проведения анализа, оценка состояние технических потери электроэнергии были получены информации о состоянии потерь электроэнергии в городских распределительных сетях г. Душанбе [2].

Полученная информация, дала возможность рассчитать потерь электроэнергии в городских электрических сетях г. Душанбе. По результатам расчетов были анализированы состояние технических потерь электроэнергии.

После анализа выявлены основные причины высокого уровня технических потерь электроэнергии в распределительных сетях: неоптимальными режимами работы распределительных сетей, неэффективностью систем учета электроэнергии, отсутствием нормативно-правовых актов, и программ направленных на снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях города Душанбе. Для решение данной проблемы, были разработаны мероприятия по снижению технических потерь электроэнергии в городских электрических сетях г. Душанбе.

### **Литература**

1. **Бохмат И. С., Воротницкий В. Э., Татаринов Е. П.** Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. — Электрические станции, 1998, № 9.
2. **Информация** за 2019 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] <http://www.barqitojik.tj> (Дата обращения 03.07.2020 г.).
3. **Чоршанбиев С. Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

*М. Р. Пиров, студ.;*  
*рук. С. Р. Ниёзи, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫРАБОТКИ, ПЕРЕДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОАО «БАРКИ ТОЧИК» РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Открытая Акционерная Холдинговая Компания (ОАХК) «Барки Точик» — государственная национальная энергетическая компания Республики Таджикистан, которая управляет электроэнергетической системой Республики Таджикистан, в своем составе имеет: около 14 генерирующих предприятий и 17 предприятий, по передаче и распределению электроэнергии по территории республики (состоящих из 59 районных и городских электрических сетей) [1]. ОАХК «Барки Точик» играет ведущую роль в энергоснабжении народного хозяйства Республики Таджикистан, на долю которой приходится более 97% произведенной электроэнергии и 98% установленной мощности электрических станций в стране [1].

Исходя из этого, в данной работе описываются результаты анализа выработки, передачи и потребления электрической энергии в национальной энергетической компании ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан.

Дана краткая характеристика создания и динамики развития электроэнергетической системы Республики Таджикистан. Списаны основные источники электрической энергии. Проанализирована динамика производства электроэнергии в Республике Таджикистан. Приведены сведения по количеству и установленной мощности трансформаторов понижающих подстанций и протяженности линий электропередачи Республики Таджикистан с разбивкой по классам напряжений 0,4–500 кВ. Проанализировано потребление электрической энергии как в целом по Республике Таджикистан, так и по отдельным классам потребителей.

Таким образом, в результате проведенного исследования получено:

В Республике Таджикистан более 92% электрической энергии вырабатывается на ГЭС. Каскад ГЭС, расположенный на реке Вахш, является основным источником электроэнергии в республике, его установленная мощность составляет более 89%. В республике основная выработка электроэнергии осуществляется в южной части страны, а крупные потребители расположены в центральной и северной части. В Республике Таджикистан существует острый дефицит электрической энергии около 2–4 млрд кВт·ч, в зимний период, связанный с уменьшением стока воды в реках, что заставляет страну вводить ограничения на ее потребление.

### **Литература**

1. **Информация** за 2019 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] <http://www.barqitojik.tj> (Дата обращения 03.10.2020 г.).

*О. Х. Саидов, студ.; рук. М. Д. Додхудоев, к.т.н., доц.;  
рук. С. Р. Ниёзи, к.т.н., ассист. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ**

Режим работы приёмников электрической энергии промышленных предприятий (ПП) характеризуются индивидуальными и групповыми графиками электрических нагрузок. Сложность использования графиков электрических нагрузок электроприёмников при расчётах и проектирования систем электроснабжения, обусловило использования в место них коэффициенты, характеризующие эти графики. При этом основными из них являются коэффициент использования, коэффициент загрузки, коэффициент включения. Они могут быть, определены по нормам расхода электроэнергии на технологические операции, производимой технологическим агрегатом или технологической установкой.

Нормы расхода электроэнергии на технологические операции могут быть, оценены, путём проведения испытаний технологического оборудования непосредственно в производственных условиях. Они имеют определённую сложность, в условиях работающего производства.

Такие испытания возможны с использованием специальной измерительной установки, удовлетворяющей определённым требованиям производства, которые сформулированы в работе. В соответствии с ними разработана измерительная установка, которая выполнена в виде переносного шкафа и состоит из трёх блоков: вводный блок; измерительный блок и блока автоматического управления.

Измерительная установка позволяет автоматическое измерение расхода электроэнергии и продолжительность рабочего режима технологического агрегата в рабочем режиме, расхода электроэнергии и продолжительность работы в режиме холостого хода, а также продолжительность простоя технологического агрегата.

*З. Р. Эшонкулов, студ.;*

*рук. М. Д. Додхудоев, к. т. н., доц. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **О ПРИМЕНЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ 1000 кВ.А В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Старые города бывших Республик СССР, ныне суверенных государств, характеризовались малой плотностью застройки селитебных территорий. Соответственно этому была низкая плотность электрической нагрузки этих территорий, обуславливающая применения на потребительских трансформаторных подстанциях трансформаторы мощностью до 630 кВ.А.

Современные селитебные территории городов, в том числе в Республике Таджикистан, отличаются многоквартирными многоэтажными жилыми домами (ММЖД) 16–25 этажей, расположенных на небольшой площади территорий, оснащённых большим количеством электроприёмников разной мощности и разного назначения с использованием электроэнергии для приготовления пищи.

Близость ММЖД и большая нагрузка жилых, общественных и коммунальных потребителей расположенных в них создают большой плотность нагрузки селитебных территорий городов. В этих условиях при применении трансформаторов мощностью до 630 кВ.А происходит значительное сокращение длины и разветвлённости распределительных линий напряжением 380 В. Но также значительно увеличивается число трансформаторов и количество ПТП. Возникает оптимизационная задача выбора мощности и количество трансформаторов на ПТП, количество ПТП и места их размещения с оптимальным построением всей схемы распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ и 380 В.

Произведено технико-экономическое сравнение вариантов схем электропитания ММЖД жилого массива, расположенного на небольшой территории с трансформаторами мощностью 630 и 1000 кВ.А двух-трансформаторных комплектных трансформаторных подстанций. Установлено, что электрические сети с трансформаторами напряжением 10/0,4 кВ и мощностью 1000 кВ.А не только не уступают электрическим сетям с трансформаторами мощностью 630 кВ.А, но имеют меньшие приведённые затраты более чем на 10%.

*Ф. Т. Миров, асп.;*

*рук. А. К. Киргизов, к.т.н. доцент (ТТУ им. акад. М. С. Осими)*

## **РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЙТИНГОВЫХ БАЛЛОВ**

Для повышения эффективности работы районных электрических сетей (РЭС) города Душанбе необходимо ввести рейтинговую систему эффективности функционирования. Эффективность функционирования зависит от создания конкуренции между РЭС по принципу: «Кто эффективнее работает» или «Работает неэффективно».

Создание рейтинга РЭС позволяет правильно принять решения как технических, экономических так и управленческих.

Существуют несколько факторов которые могут влиять на рейтинговую оценку РЭС это: техническое и моральное состояние оборудования РЭС, остаточный срок службы оборудования. При создании департаментов на базе «Барки Точик» метод рейтинговых оценок позволяет привлекать инвестиции в реализации проектов. Также можно вводит систему поощрения РЭС за высокий рейтинговый показатель [1]. Для составления рейтинга используются разные методы на примере: метод парных сравнений, правило Максимин, правило Копеланда, правила Шварца и другие [2]. В таблице 1 показываем рейтинг РЭС по многокритериальному ранжированию с применением нечетких множеств.

**Таблица 1.** Рейтинги РЭС

РЭС	Рейтинговые баллы
РЭС Шохмансур	0,295
РЭС Сино 1	0,169
РЭС Сино 2	0,109
РЭС Фирдавси	0,135
РЭС И. Сомони	0,122

После выбора какого-либо метода можно составить компьютерные программы для упрощения расчетов рейтингов РЭС на основании существующих отчетных данных. Они должны быть достаточно простыми и приемлемыми для ежемесячного пользования [3]. Исходные данные можно более оперативно получать при наличии компьютерной сети.

### **Литература**

1. Айзерман М. А., Алескеров Ф. Т. Выбор вариантов: Основы теории. — М.: «Наука», 1990. — 87 с.
2. Акимов В. А., Бридун Е. В., Ватагин М. Ю. Актуальные проблемы устойчивого развития. — Киев: Знание, 2003. — 430 с.
3. Ашманов С. А. Математические модели и методы в экономике. М.: Издательство Московского университета, 1980. — 199 с.

*Ш. Г. Шукруллоев, студ.; рук. М. Д. Додхудоев, к. т. н., доц.  
рук. М. М. Вохидов, к. т. н., доц. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **К ВОПРОСУ О ПОТРЕБЛЕНИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ**

Одним из актуальных задач в системе электроснабжения промышленных предприятий является снижение потребления реактивной мощности, передача которой по электрическим сетям, приводит к дополнительным потерям мощности и напряжения в элементах системы электроснабжения. При этом основными потребителями реактивной мощности на промышленных предприятиях являются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, являющихся также основными приёмниками электроэнергии на большинстве предприятий. Естественно, снижения потребления реактивной мощности этими электроприёмниками, приводит к общему снижению потребления реактивной мощности и повышению общего коэффициента мощности предприятия.

Не оспоримым фактом, является то, что с повышением коэффициента загрузки асинхронного двигателя, поскольку активная мощность возрастает, коэффициент мощности повышается. Однако в технической литературе, в том числе в учебниках, утверждается, что при нагрузках асинхронного двигателя, меньше номинальной, прирост потребления реактивной мощности по сравнению с холостым ходом пропорционален квадрату коэффициента загрузки двигателя.

Экспериментальная оценка коэффициента мощности асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором разной номинальной мощности на лабораторном стенде, показала, что с увеличением коэффициента загрузки двигателя до номинальной увеличение потребления реактивной мощности двигателем не наблюдается. Повышение коэффициента загрузки свыше единицы, потребление реактивной мощности асинхронным двигателем действительно увеличивается, а коэффициент мощности снижается.

*O. H. Saidov, bachelor; scientific director Kh. S. Sangov,  
Senior lecturer, candidate of technical sciences  
(Tajik Technical University named after academic M. S. Osimi)*

## MATHEMATICAL MODEL OF THE DOUBLY FED INDUCTION GENERATOR FOR WINDMILLS

In a grid-based windmill (WM), the kinetic energy of the wind is converted into electrical energy using a doubly fed induction generator (DFIG) connected to the grid. To study the problem of ensuring the quality of electricity in such a system with a variable frequency of rotation of the shaft of a windmill, it is advisable to develop a model of an DFIG operating in parallel with the network [1].

At present, a WM based on an DFIG with a three-level control of frequency converters (FC) is used [2]. The first level of control is implemented by SS1 and SS2, respectively, in four-quadrant converter (FQC1) and (FQC2) (Fig. 1). The second level consists of control system CS3 wind wheel WM. The third level is implemented by CS3 and ensures the interaction of several windmills based on DFIG with the network. The paper discusses one of the systems for converting wind energy — a more detailed description of the composition of WM based on DFIG, operating in parallel with the network in the mode of changing shaft rotation frequency. Also, a dynamic model of a wound rotor induction generator (WRIG), expressed in the natural coordinate system  $abc$ , and several WRIG models, expressed in various coordinates  $\alpha\beta$  and  $dq$ , are developed, which are derived from the  $abc$  model using the Park transformation.

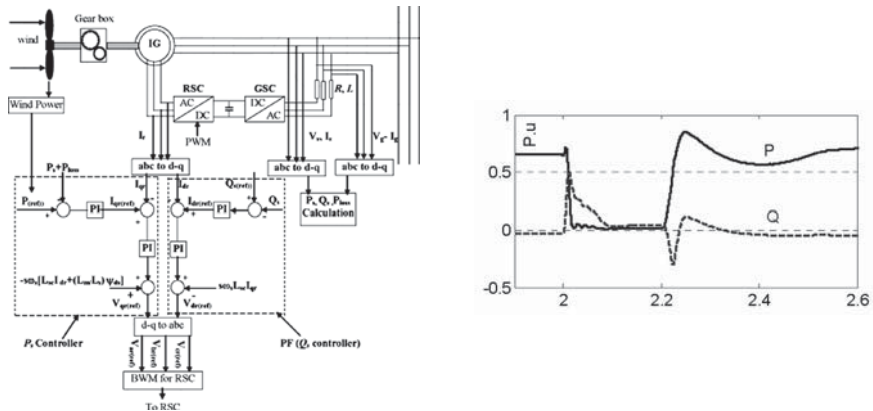


Fig. 1. Block diagram of control of windmill based on DFIG

### References

1. A. D. Hansen, P. Sørensen, F. Iov, and F. Blaabjerg. Control of variable speed wind turbines with doubly-fed induction generators / Wind Engineering, Vol. 28 (4), 2004. — p. 411–432.
2. Sangov K. S., Chorshanbiev S. R., Ismoilov F. O., Balaev M. A., Vohidov M. M. Three-phase self-excited induction generator for windmills analytical techniques and experimental re-sults. В сборнике: Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020. 2020. С. 9059122.

Мухаммадбашири А, бакалавр; научный руководитель;  
 Х. С. Сангов, к.т.н., ст. преподаватель  
 (ТТУ имени академика М. С. Осими)

## ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГДП, РАБОТАЮЩЕГО ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ

Использование возобновляемых источников энергии является одним из перспективных направлений решения проблемы энерго- и ресурсосбережения. Однако, как показывает обзор литературы, однозначно признанных в настоящее время наиболее эффективных её решений пока ещё нет. Поэтому анализы научно-исследовательских работ в этом направлении следует считать актуальными.

В ветро- и гидроэнергетике в качестве преобразователя часто используется асинхронный генератор двойного питания (АГДП), работающего либо автономно, либо параллельно с промышленной сетью [1, 2]. В работе для исследования генерирующих систем на основе АГДП разработаны компьютерные модели. Также исследуется полная система управления (СУ) АГДП для управление реактивной мощностью статора и частотой вращения вала (или активной мощностью статора). Было проведено имитационное компьютерное моделирование системы при изменении крутящего момента от 0 до номинального значения момента асинхронной машины. На (рис. 1) показана компьютерная модель системы АГДП в среде программного комплекса MATLAB/Simulink.

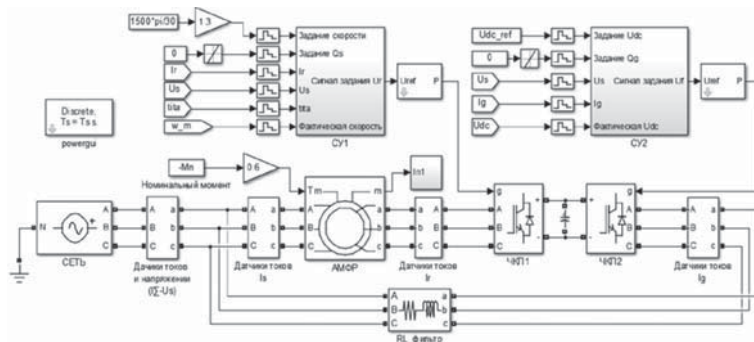


Рис. 1. Функциональная схема имитационно-компьютерная модель системы АГДП в среде MATLAB/Simulink

### Литература

1. Нгуен Хыу Нам, А. В. Бериллов, В. Г. Еременко, г. с. Мыщык, Мье Мин Тант. Исследование системы генерирования на базе асинхронного генератора двойного питания в режиме параллельной работы с сетью. Практическая силовая электроника, № 2 (70), 2018. — с. 2–11.
2. Sangov K. S., Chorshanбиеv S. R., Ismoilov F. O., Balaev M. A., Vohidov M. M. Three-phase self-excited induction generator for windmills analytical techniques and experimental results. В сборнике: Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020. 2020. С. 9059122.



*Дж. Рахмонзода, магистр;  
рук. Х. С. Сангов, к.т.н., ст. преподаватель  
(ТТУ имени академика М. С. Осими)*

## АВТОНОМНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Сегодня одна из проблем для сельских потребителей, расположенных в высокогорных регионах Республики Таджикистан (РТ) является нехваткой электрической энергии. В вышеупомянутых регионах значительная часть потребителей получает электроэнергию в ограниченном объеме и в ограниченное время, что сдерживает социально-экономическое развитие этих регионов [1]. Одним из эффективных вариантов решения этой социально и экономически важной проблемы может быть использование энергоисточников на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), к числу которых относятся ветер, малые реки, солнце и геотермальная энергия. В данной работе рассматриваются вопросы, касающиеся генерацией электроэнергии гибридного ветро-солнечного энергокомплекса, использующего ВИЭ. Приведена динамическая модель самовозбуждающегося АГ. Эта модель, известна для учета магнитного насыщения и подтверждена экспериментальными результатами. Экспериментальные испытания АГ были подтверждены на лабораторном стенде с использованием системы управления (СУ) [2]. Результаты показывают очевидную способность СУ производить на выходе АГ постоянное напряжение при любом изменении нагрузки или скорости вращения ротора (рис. 1).

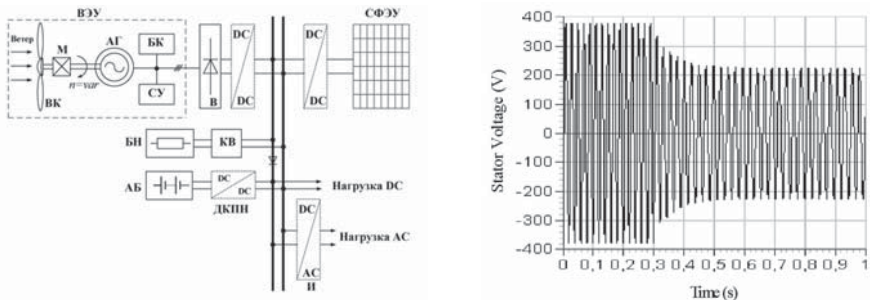


Рис. 1. Гибридная ветро-солнечная автономная система для возобновляемых источников энергии

### Литература

1. Sangov K. S., Tsyruk S. A., Mikheev D. V., Giyoev B. M., Charafeddine K. F. Economic efficiency of using a windmill for supplying power to remote rural consumers in the republic of Tajikistan. В сборнике: Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019. 2019. С. 1047–1053.
2. Sangov K. S., Chorshanбиеv S. R., Ismoilov F. O., Balaev M. A., Vohidov M. M. Three-phase self-excited induction generator for windmills analytical techniques and experimental results. В сборнике: Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020. 2020. С. 9059122.

Дж. Сафархолов, К. Набиев, студ.;  
рук. А. К. Киргизов., к.т.н., доцент (ТТУ им. акад. М. С. Осими)

## НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

С каждым годом исследования о оптимальной работе электрических сетей расширяется. Большинство процедур определения параметров оптимизации имеют неопределенность.

Неопределенность информации в планировании распределения, например, вызвана ошибками в измерениях, а также неизбежными ошибками в оценке будущих прогнозов выработки и потребления электроэнергии. Кроме того, поскольку большинство данных, используемых для задач планирования, не основаны на измерениях, степень неопределенности информации может быть довольно высокой [1].

Обычно нагрузки не регулируются и в любой момент возникает общая неопределенность в отношении спроса на электроэнергию и, следовательно, о нагрузке в сети, уровне напряжения и потерях мощности. Таким образом, нечеткий подход может лучше отражать реальное поведение распределительной сети при различных условиях нагрузки. Для моделирования нагрузок имеются две первичные нечеткие переменные: коэффициент нагрузки  $\kappa_n$  (%) и коэффициент мощности  $\cos \varphi$  [2].

Таким образом, может быть использован коэффициент почасовой нагрузки конкретного распределительного трансформатора для аппроксимации узловой нагрузки.

Нечеткие модели, используемые в этом случае для коэффициента нагрузки и коэффициента мощности, соответствуют городским жилым нагрузкам. Кроме того, коэффициент активной мощности и мощности должен быть скорректирован, как показано на рисунке 1.

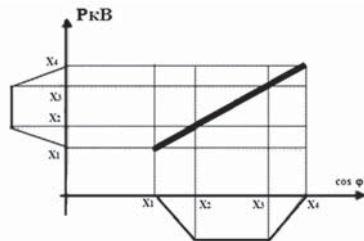


Рис. 1. Нечеткая корреляция между активной мощностью (P) и коэффициентом мощности ( $\cos \varphi$ )

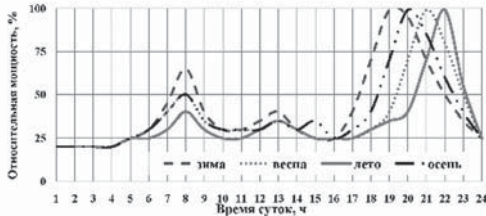
### Литература

1. Манусов В.З. Построение функций принадлежности / В.З. Манусов, К.Н. Бойко // Электротехника. Энергетика. Машиностроение (ЭЭМ-2014): сб. науч. тр. 1 междунар. науч. конф. молодых ученых, — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. — Ч. 2. Секция «Энергетика». — С. 37–40.
2. Киргизов А.К. Нечеткие модели распределенной генерации возобновляемых источников энергии Республики Таджикистан / А.К. Киргизов, Дж. С. Ахъёев, Э.Г. Ядагаев // Научный Вестник НГТУ. — 2016. — № 3. — С. 117–130.

*Д. С. Силемонов, магистр;  
рук. Х. С. Сангов, к.т.н., ст. преподаватель  
(ТТУ имени академика М. С. Осими)*

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Особенностью Республики Таджикистана (РТ), в первую очередь характерной для восточных регионов является весьма низкая плотность населения на громадных, слабо освоенных в производственном отношении территориях, изолированных от централизованного электроснабжения. Стоит выделить высокогорный Мургабский район Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) [1]. Проблема надежного и качественного электроснабжения высокогорного Мургабского района ГБАО остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах. Электрообеспечение Мургаба может быть осуществлено либо за счет централизованного электроснабжения, либо путем создания децентрализованных зон [2]. В работе проанализированы проблемы обеспечения в электроэнергию высокогорного Мургабского района ГБАО. Выявлено, что для небольшой группы потребителей мощности до 5 киловатт, необходим независимый источник энергии, который бы удовлетворял устойчивому электроснабжению с запасом энергии на три суток. В качестве одного из вариантов энергоснабжения независимого от централизованной линии электро-



**Рис. 1.** Суточный график нагрузки потребителей сельских хозяйств Мургаба

передачи Мургаба, предлагается автономная ветроэнергетическая установка (ВЭУ), у которой генерируемая электроэнергия первоначально накапливается аккумуляторными батареями, энергоёмкость которых рассчитана на продолжительную пиковую нагрузку потребителя (рис. 1).

### Литература

1. Sangov K. S., Tsyruk S. A., Mikheev D. V., Giyoev B. M., Charafeddine K. F. Economic efficiency of using a windmill for supplying power to remote rural consumers in the republic of Tajikistan. В сборнике: Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019. 2019. С. 1047–1053.
2. Сангов Х. С., Цырук С. А., Михеев Д. В., Шарафеддин К. Ф. Экономическая эффективность использования ветроэнергетической установки для электроснабжения отдаленных сельских потребителей Республики Таджикистан // В сборнике: Фёдоровские чтения — 2019. Под общей редакцией Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной. 2019. С. 330–344.

*А. М. Расулов, соиск.;  
рук. Б. М. Гиёев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **РАЗРАБОТКА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА CASA-1000**

Основные направления развития системы противоаварийной автоматики (ПА) энергосистемы Таджикистана (ЭТ), как это и делается во всех энергосистемах мира, является создание интеллектуальных иерархических систем противоаварийного управления, которые обеспечивают высокую надежность и селективность действия систем автоматического регулирования и ПА, и в конечном счете, поддержание требуемых параметров режима и оптимального перехода от аварийных и послеаварийных режимов к нормальному.

Вышеупомянутые проблемы решаются путем разработки новых алгоритмов, принципов выполнения устройств и систем ПА энергосистемы с учетом ее параллельной и синхронной работы с энергосистемами соседних стран и реализации проекта CASA-1000. Для этого необходимо провести моделирование переходных процессов с использованием реальных исходных данных энергосистемы и на основе полученных результатов разработать алгоритм действий устройств ПА.

В данной работе в программном комплексе PSCAD была разработана эквивалентная модель энергосистемы с использованием экспериментально измеренных и официально полученных данных и параметров ЭТ. В модели использованы стандартные компоненты моделирующего комплекса и стандартные модели IEEE [1,2].

Модели синхронных гидрогенераторов созданы как отдельная эквивалентная модель для каждой станции. В модели учтены основные станции как Нурекская, Байпазинская, Сангтуда 1 и Сангтуда-2, Головная, Рогунская и Кайрокумская. Благодаря широкой функциональности комплекса PSCAD разработанная модель дает возможность при симуляции проверять и оценивать и сравнивать ее работоспособности с реальными параметрами моделируемого объекта. Соответственно ее адекватность была оценена путем безошибочной ее работы при запуске и симуляции.

Планируется разработанную модель в дальнейшем использовать для исследования электромагнитных и электромеханических переходных процессов и в целом вопросов устойчивости энергосистемы.

### **Литература**

1. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std. 421.5-1992.
2. EMTDC Transient Analysis for PSCAD Power System Simulation: User's Guide v4.5. — Winnipeg, Canada, Manitoba-HVDC Research Centre.

*М. А. Рахимов, маг.; М. Г. Ализода, маг.;*  
*рук. Дж. Б. Рахимов, к.т.н. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Сегодня одним из задач электросетевых компаний является повышение надежности электроснабжения и качества электроэнергии. Для этого необходимо развивать и модернизировать существующие распределительные электрические сети (ЭС). Эффективное решение этой задачи требует расширенного использования математических и расчетных моделей ЭС.

В данный момент одним из новейших расчетных инструментов электрического сетевого проектирования, моделирования и анализа режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС) является программный комплекс (ПК) NEPLAN. ПК NEPLAN используют более чем в 600 электросетевых компаниях в 80 странах мира. В данной работе авторами ПК NEPLAN используется для анализа вопросов координации и оптимизации уровней токов короткого замыкания (КЗ) и расчета устойчивости ЭЭС Республики Таджикистана (РТ).

При применении ПК NEPLAN использовалась возможность сопоставления методов расчета потокораспределений мощности в ЭС, таких как расширенный метод Ньютона — Рафсона, итерации по току, падение напряжения и установившийся режим по постоянному току. Также варьировались результаты расчетов токов КЗ, выполненных разными стандартами IEC 60909, ANSI 37.10/37.13 и методом наложения [1, 2].

Полученный опыт создания и применения расчетных моделей распределительных сетей ЭЭС РТ дает возможность решить широкий спектр задач и открывает новые возможности повышения эффективности работы ЭС и планирования их развития. Основными задачами, планирования развития ЭЭС РТ являются задачи оптимизации уровней токов КЗ и повышения статической и динамической устойчивости.

### **Литература**

1. Рахимов Дж. Б., Гусев Ю. П. Рост уровней токов короткого замыкания — сдерживающий фактор развития экономики // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV-й российской молодежной научной школы — конференции. В. 2 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ООО «ЦРУ», 2016. Стр. 80–84.
2. Гусев Ю. П., Гусев О. Ю., Трофимов В. А. Опыт использования расчетных моделей в распределительных сетях // Журнал «Энергетик», № 1 2015, стр. 25–27.

*Б. Шахбози, студ.; рук. Р. С. Ишан-Ходжаевич, ст. преп.  
(филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)*

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ**

В настоящее время существует большое количество предпосылок возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетической системе, имеющих как прогнозируемый, так и случайный характер. Геомагнитно индуцируемые токи, которые появляются во время геомагнитной бури, тоже могут стать причиной аварии в электроэнергетических системах. Показано, что одной из основной причиной аварийности на линиях электропередач и связи являются геомагнитно индуцированные токи, генерируемые в проводящих материалах во время магнитных бурь переменными магнитными полями.

Установлено, что наибольшую опасность геомагнитно-индуцируемые токи, представляют для трансформаторов, работающих в режиме с глухо-заземленной нейтралью. На подстанциях линий электропередач, геомагнитно-индуцируемые токи, протекающие в земле, замыкаются через трансформаторные обмотки и по заземлению (рис), т. е. там, где никаких защитных релейных устройств нет (не предусмотрены проектными решениями), и в этом состоит опасность. В энергетических системах эти токи приводят к таким опасным эффектам:



- насыщению трансформаторов, их перегреву и разрушению;
- генерации паразитных гармоник переменного тока и т. п.

В качестве одно из мер по уменьшению влияние ГИТ можно использовать ёмкостное устройство в нейтралях трансформаторов.

### **Литература**

1. **Авакян С. В.** Роль космических факторов в энергетической и экологической безопасности. Ч. 2: Вклад магнитных бурь в аварийность на больших электросетях и линиях связи / С. В. Авакян, Н. А. Воронин // Академия энергетики. — 2011, № 6 (44). — С. 32–35.
2. **Чистяков Г. Н.** Экспериментальное исследование тока в нейтрали трансформатора в период геомагнитных бурь [Текст] / Г. Н. Чистяков, С. Н. Сигаев // Известия Томского политехнического университета. — 2011. Т. 318, № 4. — С. 122–127.

*А. А. Пулатова, М. Р. Джалилова, студ.;  
рук. Х. Б. Назиров, к.т.н., (филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)*

## **АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ**

Районная электрическая сеть Зеравшанской долины обеспечивает электроэнергией различных потребителей, расположенных на территории трех районов (Пенджикент, Айни и Горный Матчинский). Для анализа установившегося режима (УР) работы данной сети был произведен первоначальный сбор исходных данных (параметров сети и параметров наименьшего режима) и смоделирован в программном комплексе RastrWin.

Моделирования УР выполнялось в режиме реальной загрузки элементов электрической сети при  $Kз=0,32$  автотрансформаторов ПС «Рудаки-220/110/35/10 кВ». Согласно результатам моделирования, среднее установившееся отклонения напряжения (УОН)  $\delta U_y$  по всем узлам сети составляет — 10,11%, УОН самой дальней ПС от ЦП составляет  $\delta U_y=-17,5\%$ , что превышает нормы ПКЭ [1]. Однако результаты моделирования в режиме НБ загрузки сети при  $Kз=0,6$  автотрансформаторов ПС «Рудаки-220/110/35/10 кВ» показывает худшие результаты.

Для оптимизации режимов работы рассматриваемой сети при НБ нагрузке предлагается: увеличение числа цепей до двух в линии электропередач 220 кВ «Сугд-Шахристон-Искодар-Рудаки»; установка компенсирующих устройств (батарея конденсаторов) на шинах высокого напряжения ПС «Искодар 220/110/10»  $Q_{КУ\text{искодар ВН}}=28,6$  Мвар и ПС «Рудаки 220/110/35/10»  $Q_{КУ\text{искодар ВН}}=66,1$  Мвар. При увеличении количества цепей ВЛЭП «С-Ш-И-Р» до  $n_d=2$  суммарные относительные потери мощности снижаются от 22,8% до 5,4%, среднее отклонение напряжения по узлам — 2,92%. Однако такой способ оптимизации увеличивает не только надёжность, но и увеличивает затраты. Другой более экономичный вариант — это установка компенсирующих устройств в шинах ВН подстанции. Компенсирующие устройства, как правило, устанавливаются ближе к потребителям реактивной мощности, однако в данном случае компенсируется реактивная мощность трассы ВЛЭП.

### **Литература**

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Стандартиформ, Москва 2014 г.

*А. Отамбеков, студ.; рук. А. К. Киргизов, к.т.н. доцент  
(ТТУ имени академика М. С. Осими)*

## **МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ОТДАЛЕННЫХ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ**

Электроснабжение отдалённых потребителей в горных труднодоступных регионах в Советское время осуществлялось от дизельных электростанций. В связи с удорожанием горюче-смазочных материалов в мире и особенно в Таджикистане, использование дизельных электростанций становится невозможным с экономической точки зрения. При существующем экономическом кризисе в Таджикистане строительство малых ГЭС является более целесообразным с точки зрения капиталовложения на их строительство и небольшого срока окупаемости.

Достаточное количество малых рек равномерной сетью покрывают всю территорию горных и предгорных районов. Строительство на этих реках гидроэлектростанций, с выработкой энергии, одновременно решает и вопрос её доставки до потребителей. Малые ГЭС могут работать, как изолированно, так и в общей энергосистеме. При этом они являются почти абсолютно чистыми источниками энергии. Сооружения водохранилищ для малых ГЭС в горных районах кроме энергетических проблем также может дать возможность решать проблемы водоснабжения населённых пунктов и ирригации плодородных земель [1].

Если проект малой ГЭС планирует построить в составе комплексного гидроузла с водохранилищем при неограниченном суточном регулировании, тогда для расчета гарантированных мощностей представляет топографические характеристики водохранилища, в виде графиков зависимости объема водохранилища  $V$  и площади зеркал  $W$  водохранилища от уровня верхнего бьефа [2].

Поскольку электрическую мощность ГЭС измеряют на выводах гидрогенераторов, то  $\eta_{\text{агр}}$ , входящий в формуле (1),

$$\eta_{\text{агр}} = \eta_{\text{турб}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{ген}} \quad (1)$$

где,  $\eta_{\text{турб}}$ ,  $\eta_{\text{пер}}$ ,  $\eta_{\text{ген}}$  — соответственно коэффициенты полезного действия гидравлической турбины, механической передачи и гидрогенератора.

### **Литература**

1. Петров Г.Н. Малая Гидроэнергетика Таджикистана / Г.Н. Петров, Х.М. Ахмедов // Гидротехническое строительство. — 2010. — № 12. — С. 49–56
2. Киргизов А.К. К вопросу использования малой гидроэнергетики в условиях Таджикистана / А.К. Киргизов, М.Б. Иноятов // Вестник Таджикского технического университета. — 2008. — № 2 (18). — С. 38–42.



З. Р. Эшонкулов, студ. ;  
 рук. Б. С. Джамолзода, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА В Г. ДУШАНБЕ

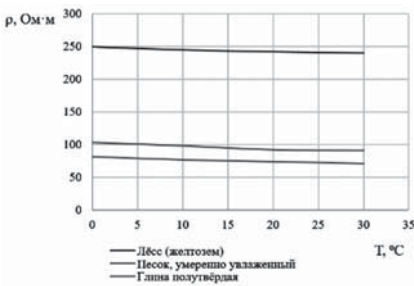
Удельное сопротивление грунта называется электрические сопротивление между противоположными плоскостями куба земли с ребром длины 1 м. Единица измерения удельного сопротивления — ом на метр (Ом·м) [1].

Основное воздействие на значение сопротивления заземлителей оказывает верхний слой грунта на глубине до 20–25 м, в следствие этого при расчете необходимо знать его удельное сопротивление.

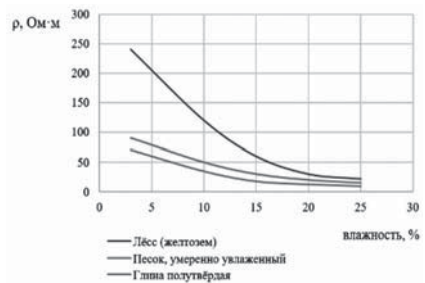
Измерения удельного сопротивления грунта, выполненные на трех участках территории г. Душанбе. Измерения производились прибором ИС-10 по четырёхпроводной схеме измерения с расстоянием между измерительными электродами  $l = 5$  м [2].

Кроме того, важными факторами, воздействующими на величину удельного сопротивления грунта, считаются влажность и температура. На рис. 1 приведены кривые изменения удельного сопротивления грунта территории г. Душанбе в зависимости от температуры и влажности.

В течение годы в взаимосвязи с переменной погодных и климатических условий содержание влаги в грунте и его температура меняются, и таким образом, меняется и удельное сопротивление.



(а)



(б)

Рис. 1. Кривая изменения удельного сопротивления грунта территории г. Душанбе в зависимости от температуры, а) и влажности б)

По результатам измерения удельного сопротивления грунта территории г. Душанбе можно сделать вывод, что сопротивления грунтов, полученных экспериментальным путем отличаются от приведённые в справочных литературах в незначительной мере.

### Литература

1. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов, Издательство «Связь», Москва 1991 г.
2. «Измеритель сопротивления измерения ИС-10». Руководство по эксплуатации.

*Ш. П. Ахтамов, студ.; рук. Б. С. Джамолзода, к.т.н.  
(ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ AUTOMATION STUDIO™ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Automation Studio™ уникальное программное обеспечение, которое обеспечивает гибкую и открытую среду для создания и эксплуатации автоматизированных систем управления и управления локальными и распределенными энергетическими установками. Программа предназначена для настройки и конфигурирования всех продуктов Efases от терминалов РЗА до серверов АСУ ТП и НМІ интерфейса оператора. Все инженерные работы, начиная с проектирования, настройки и программирования, проверки, наладки и испытаний до эксплуатации и технического обслуживания поддерживаются одним набором инструментов [1].

Automation Studio™ новое программное решение для обучения основам также современным технологиям, применяемым в производстве. Вследствие ее явному также подходящему интерфейсу, эффективным средствам проектирования, реалистическому моделированию, динамическому отображению также многоуровневой среде, студенты и учителя, а также учебное учреждение полностью имеют все шансы пользоваться способностями проекты Automation Studio™ [2].

На сегодняшний день разработчики ПО обладают дело со беспрецедентным многообразием аппаратных решений как в оборудовании, а также на своем рабочем столе. Необходимость успеть за возрастающей сложностью, многофункциональной плотностью и разнообразием задач любой машины приводит к кардинальным изменениям способов разработки.

Пересмотренные программы Automation Studio™ считается сравнительно элементарными, однако в тоже время достаточно эффективными средствами с целью проектирования также компьютерного моделирования систем промышленной автоматизации. Делается допустимым почти устранить ошибки в программировании микропроцессорных средств управления также сократить возможность выхода из строя исполнительных устройств сложного технологического оборудования. Использование в учебном процессе данных компьютерных технологий гарантирует увеличение уровня бакалаврской подготовки выпускников по направлению энергетики.

### **Литература**

1. Perfection in automation. [www.br-automation.com/ru](http://www.br-automation.com/ru)
2. [https://entas.by/sites/default/files/br\\_catalog11\\_as\\_r.pdf](https://entas.by/sites/default/files/br_catalog11_as_r.pdf)

*Р. А. Рахимов, асп.;*  
*рук. Ш. Дж. Джураев, к.т.н. (ТТУ имени ак. М. С. Осими)*

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА ДУШАНБЕ**

Во многих современно развитых городах особое внимание уделяется вопросу организации грамотного уличного освещения. Важность организации уличного освещения заключается в том, что наружное освещение — это залог безопасности пешеходов и автомобилистов. Если раньше для уличного освещения городов использовались традиционные ДРЛ, люминесцентные лампы, сейчас широко используются энергосберегающие лампы, светодиодные, ДНаТ, которые являются источниками высших гармонических составляющих тока и напряжения.

В работе приведены результаты инструментальной оценки качества электроэнергии в электрических сетях наружного освещения г. Душанбе. В настоящее время система электроснабжения наружного освещения города Душанбе включает в себя более 33762 тыс. осветительных приборов, из них осветительные установки с лампами ДНаТ составляют — 13324 шт., светодиодные — 2562 шт. и энергосберегающие — 17876 шт., общая мощность которых составляет  $P=4517794 \text{ Вт}=4517,794 \text{ кВт}$ .

Для оценки фактического уровня показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в данной электрической сети в период с 12 по 28 марта 2020 года был произведен инструментальный контроль КЭ в электрических сетях наружного освещения г. Душанбе. В качестве средства измерения использовались приборы типа *FLUKE*. Длительность наблюдения в каждой точке не менее суток. Результаты измерения показали, что некоторые ПКЭ не соответствуют нормативным требованиям ГОСТ 32144-2013:

- верхняя граница медленного изменение напряжения ( $\delta U_{(+)}$ ) достигает +11,58%, что связано с неправильной установкой положения ПБВ понижающих трансформаторов;
- так же зарегистрированы нарушения по  $K_U$ , что составляет 10,87% и по  $K_{U(n)}$  для следующий гармоник:  $K_{U(3)}$  — до 8,21%,  $K_{U(5)}$  — до 6,93%,  $K_{U(7)}$  — до 5,81% и  $K_{U(9)}$  — до 2,79%.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют определить уровень помех, генерируемых осветительных приборов и выбрать оптимальный способ их компенсации.

*Ш. Шукруллоев, студ.; рук. Ф. О. Исмоилов, к.т.н., и.о.доц.  
(ТТУ им. акад. М. С. Осими)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Отопительный сезон зависит конкретного температурного режима года, и в условиях Таджикистана может начаться от второй половины октября до конца апреля. Таким образом, согласно санитарно-гигиеническим требованиям на протяжении около 6 месяцев тепловой режим в жилых и административных зданиях должен обеспечиваться отопительными системами. На сегодняшний день в Таджикистане в основном имеют место централизованная система отопления и электрическое отопление бытовыми электрическими нагревательными устройствами. К сожалению централизованное отопление жилых домов и административных зданий существует только в столице, территория которой также не охвачена полностью указанной системой. В остальных городах страны для отопления используются электрические нагревательные установки бытового класса.

Кроме того, с началом отопительного сезона как показывает ежегодная практика наступает проблема «холодных батарей». Данный процесс усугубляется дополнительно, если произойдет отказ любого важного элемента централизованной системы отопления. Вышеуказанное приведет к тому, что всем потребителям тепловой энергии приходится дополнительно приобрести электрические нагреватели. [1]

Практическая значимость заключается в том, что на территории города Душанбе где параллельно применяются обе системы, проведено тщательное исследование эффективности использования каждой системы в отдельности, результаты которого могут послужит базовой площадкой для разработки программы и перспективы развития системы отопления других регионов (городов) страны в отдельности.

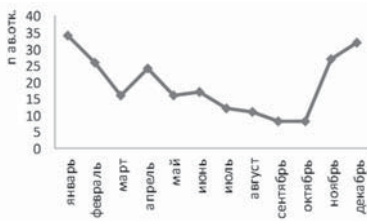
В работе при исследовании двух систем отопления были учтены конкретные климатические условия городов страны, текущая и перспективная стоимости электроэнергии, первоначальные затраты и эксплуатационные расходы, а также надежность и экологичность каждой системы в отдельности.

### **Литература**

1. Сафонов А. А., Фокин Ю. А. Анализ системы электроснабжения при замещении тепловой нагрузки электрической / РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА. Шестнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 394–395 стр.

*Н. С. Исозода студ; рук. М. М. Вохидов, к.т.н.; Ф. Н. Салихов  
(ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ “ПС СОХИЛИ” Г. ДУШАНБЕ



**Рис. 1.** Статистика отключений в ПС “Сохили”

Нарушения систем электроснабжения приводят к простым скажинам и снижению эффективности энергопотребления из-за недовыпуска продукции [1].

Статистика отключений в электрических сетях подстанции “Сохили” приведена на рис. 1. Из приведенного графика видно, что количество повреждений в электрических сетях подстанции “Сохили” произошло в месяц — январь, февраль, ноябрь и декабрь, это свидетельствует о том, что

в этих месяцах потребность к электроэнергии увеличиваются.

Анализ количество отключения электрических сетях подстанция «Сохили» позволил сделать вывод, что рост аварийности в 2019 году связано с старением оборудования, которые в зимнем периоде не выдерживают больших нагрузок. Поэтому необходимо постепенно заменить изношенных оборудования на новых. Так же следует отметить, что большее количество отказов электрооборудования, как правило, относятся в зимнем периоде [2]. Это связано с началом проведения земляных работ и увеличением вследствие этого повреждений воздушных линий и кабельных муфт, а также вследствие грозы и обильного выпадения осадков в виде дождей.

Результаты анализа нарушений энергоснабжения по видам повреждений электрооборудования, показывают, что повреждения опор, изоляторов, имеет связь с проведением различного рода работ. По причинам связанных с коммутационной аппаратурой — выключателями и разъединителями произошло 34 отключений. По причинам неисправностей с повреждениями трансформаторов и кабелей произошло 44 отключений. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее части отключения связаны с неисправностями выключателей и разъединителей, а также трансформаторов.

### Литература

1. **Абрамова Е. А., Алешина С. К., Чиндиянскин В. И.** «Расчет понизительной подстанции в системах электроснабжение». Учебное пособие по курсовому проектированию. 2-е изд. Перераб. и доп. Оренбург; ГОУ ОГУ.2004.
2. **Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С.** Теплопередача: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1981.

Б. Шахбози, студ.; рук. Ш. Дж. Джураев, к.т.н., ст. преп.  
(филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Свойства электроэнергии (КЭ) определяется по её показателям. При передаче и распределении электроэнергии в электрических сетях, содержащих электроприемники (ЭП) с нелинейной вольт-амперной характеристикой (ВАХ), некоторые показатели КЭ ухудшаются, так как такие ЭП являются источником высших гармонических составляющих тока. Данные токи распространяясь в сети искажают форму кривого питающего напряжения и увеличивают потери мощности в сети. Показателями, характеризующими форму кривого напряжения, являются коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей ( $K_{U(n)}$ ) и суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ ), которые формируются в соответствии межгосударственного стандарта ГОСТ 32144-2013.

В работе рассмотрены режимы работы участка электрической сети, содержащей линию электропередачи напряжения 110 кВ и понижающий трансформатор типа ТРДН-25000/110/10, который питают нелинейную нагрузку (ЭП с нелинейной ВАХ).

Для полноценной оценки влияния гармонических составляющих тока на величину потерь мощности рассмотрены четыре разных вариации (при  $0,1 \cdot S_{\Sigma}$ ,  $0,5 \cdot S_{\Sigma}$  и  $0,1 \cdot S_{\Sigma}$ ,) доля нелинейной нагрузки (при  $S_{\text{нел}} = 0$ ;  $0,1 \cdot S_{\Sigma}$ ;  $0,5 \cdot S_{\Sigma}$  и  $0,1 \cdot S_{\Sigma}$ ) от суммарной мощности нагрузки ( $S_{\Sigma} = S_{\text{нел}} + S_{\text{лин}}$ ). Результаты расчетов (рисунок 1) показывают, что с увеличением доля нелинейной нагрузки потери мощности в сетях существенно возрастает. Так, например, при  $S_{\text{нел}} = 0$  потеря мощности в линии составляла 1,093 МВт, а при увеличении мощности нелинейной нагрузки до  $S_{\text{нел}} = 0,1 \cdot S_{\Sigma}$ ;  $0,5 \cdot S_{\Sigma}$  и  $0,1 \cdot S_{\Sigma}$ , потеря мощности возросла соответственно до 1,098, 1,11 и 1,13 МВт. На основе приведенного исследования можно сделать вывод, что необходимо выбрать оптимальный способ подавления помех, создаваемых ЭП с нелинейной ВАХ.

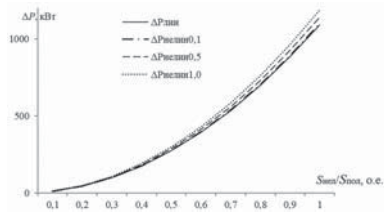


Рис. 1.

Н. Б. Бейшенов, Т. Ш. Молдобаев студ.;  
рук. Н. Д. Таабалдиева, к. т. н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Свойства многих электроэнергетических объектов таковы, что их исследование в обычных лабораторных условиях очень затруднительно, или вообще невозможно. Очень трудно представить себе лабораторию, в которой поместилась бы линия электропередачи длиной в несколько десятков километров и напряжением в десятки или сотни киловольт. Поэтому в инженерной практике в таких случаях часто прибегают к физическому моделированию, т. е. эксперименты производятся не с объектом-оригиналом, а с его физической моделью.

В данной работе приведены возможности применения теории подобия чтобы физические процессы в модели лабораторного стенда адекватно отображали соответствующие процессы в объекте-оригинале. Для правильного подбора параметров модели в работе используется расчет масштабных коэффициентов, используя соотношения (1) и (2).

$$\frac{m_C m_I}{m_G m_R m_t^2} = 1; \quad \frac{m_C}{m_G m_t} = 1; \quad \frac{m_I}{m_R m_t} = 1; \quad \frac{1}{m_G m_R m_t^2} = 1 \quad (1)$$

$$\frac{C_{(0)}}{G_{(0)} t} = idem; \quad \frac{L_{(0)}}{R_{(0)} t} = idem; \quad R_{(0)} G_{(0)} t_{\Delta}^2 = idem \quad (2)$$

Сама физическая модель создается на лабораторном стенде (рис. 1). Необходимо только при помощи переключателей придать ему параметры, возможно более близкие к требуемым параметрам модели. Методы теории подобия позволяют получить более точную оценку технического состояния и уменьшить затраты на дополнительные обследования. Результаты эксперимента приведены на рис. 2.

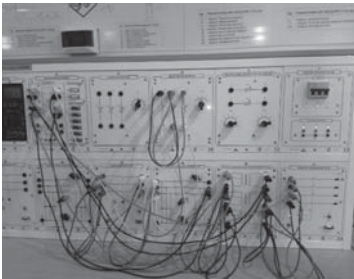


Рис. 1. Физическая модель линии

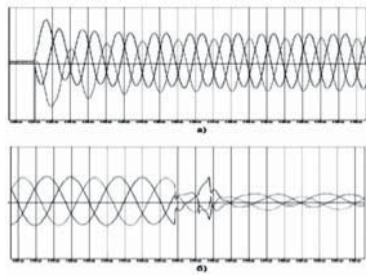


Рис. 2. Осциллограммы КЗ в конце линии,  
а) осциллограмма токов КЗ  
б) осциллограмма напряжения при КЗ

### Литература

1. Веников В. А. Теория подобия и моделирования: применительно к задачам электроэнергетики / В. А. Веников, Г. В. Веников. — Изд. 4-е., Москва: ЛИБРОКОМ, 2014. — 439 с.
2. Моделирование линии электропередач с помощью лабораторного стенда «Электрические станции и подстанции» Таабалдиева Н. Д., Асаан уулу Асгат. Известия КГТУ им. И. Раззакова, стр. 63–68

Азамат уулу О., студ.; М. Т. Абдылдаева, асп.;  
рук. Э. Т. Куданалиев, доц. (КГТУ им. И. Раззакова)

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КЫРГЫЗСТАНА

В работе рассматривается возможность участия электростанций энергосистемы Кыргызстана в регулировании частоты в Объединенной Энергосистеме Центральной Азии (ОЭС ЦА) и при изолированной работе и текущее состояние устройств автоматического регулирования частоты и мощности (АРЧМ) в сравнении с регулированием частоты в Единой Энергетической Системе (ЕЭС) России. Также рассмотрены состояние АРЧМ в Кыргызской энергосистеме и в ЕЭС России.

В последнее время данный вопрос становится актуальным в виду высоких требований к качеству электроэнергии, условиям параллельной и изолированной работы энергосистем. Регулирование частоты и мощности один из основных вопросов в работе ОЭС ЦА, по которым существует ряд разногласий между участниками ОЭС. Основная регулирующая частоту в Кыргызской энергосистеме электрической станцией является Токтогульская ГЭС, а в дальнейшем к ней должна добавиться Курпсайская ГЭС. Но установленное на Токтогульской ГЭС оборудование давно устарело и требует модернизации, что должно стать одним из основных задач реконструкции станции, которое сейчас производится по проекту реабилитации станции до 2023 года. Создание современного АРЧМ является ещё одним из этапов в создании энергетической безопасности в Кыргызской энергосистеме.

Создание и развитие централизованных систем (ЦС) АРЧМ для автоматизации процесса регулирования частоты и перетоков активной мощности обусловлено необходимостью обеспечения эффективной параллельной работы энергосистем большой мощности по линиям электропередач, имеющих относительно низкую пропускную способность.

Повышение качества регулирования частоты и перетоков активной мощности за счет использования ЦС АРЧМ позволяет увеличить обмен мощности по межсистемным сечениям при сохранении надежности параллельной работы энергосистем. На рисунке представлены предполагаемая структура ЦС АРЧМ энергосистемы Кыргызстана.



### Литература

1. Автоматика энергосистем: Учебное пособие. Ю. С. Боровиков, А. С. Гусев, М. В. Андреев. Томск, 2015. — 196 с.
2. Основные технические требования к параллельно работающим энергосистемам стран СНГ и Балтии. Правила и рекомендации по регулированию частоты и перетоков.



Суйунуч у. Б., студ.; А. К. Абдымомунова, асп.;  
рук. Н. Д. Таабалдиева, к. т. н., доц., (КГТУ им. И. Раззакова)

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В докладе рассматривается анализ устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) путем имитационного моделирования в среде Matlab пакета Simulink, что использование программы значительной степени сокращает затраты на проектирование энергосистем, и такой метод анализа обладает наглядностью и позволяет прогнозировать поведение системы при различных режимах работы. При анализе работы электрических систем учитывались только электромагнитные параметры системы и связанные с ними механические параметры элементов системы, если эти параметры влияют на электромагнитные процессы в системе.

Имитационная модель системы представлена на рис. 1. По условным обозначениям, используемым в модели, не трудно определить местоположение перечисленных элементов системы. На модели представлены и контрольно-измерительные приборы — КИП, используемые для контроля электрических и механических параметров электроэнергетической системы. Для измерения электрических и механических величин генератора используется специальный измерительный блок КП, предназначенный для контроля параметров электрических машин. На его вход подается информация с выхода  $m$  генератора. Между генератором и трансформатором включен комплект измерительных приборов КИП, предназначенных для контроля режимов работы трехфазных цепей. На выходе второго трансформатора включен аналогичный измерительный блок.

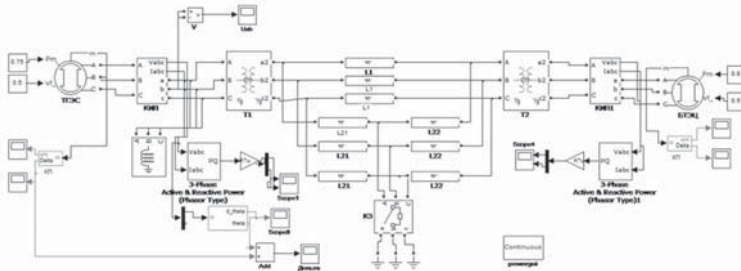


Рис. 1. Имитационная модель электрической станции, работающей на электроэнергетическую систему ограниченной мощности

### Литература

1. Анализ устойчивости ЭЭС с ограниченной мощности путем имитационного моделирования с использованием Simulink. Абдымомунова А. К., Куданалиев Э. Т. Известия КГТУ им. И. Раззакова. Бишкек, 2015 г.
2. Дьяконов В. П., Пеньков А. А. MatLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. Москва, ГЛ-Телеком, 2009.

*Б. Б. Бекташов, студ.; рук. А. К. Мамакеева, ст. преп.  
(КГТУ им. И. Раззакова)*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КЫРГЫЗСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

При разработке концепций и проектов по внедрению интеллектуальных сетей следует помнить, что Smart Grid — это не просто автоматизация процесса управления производством, передачи и распределением электрической энергии. Это система управления всей электрической сетью, которая в конечном итоге должна стать полностью автоматической, а все имеющиеся автоматизированные системы (АСУ ТП, АСТУ, ССПИ, АСТУЭ, системы мониторинга, системы управления данными и др.) являются лишь инструментом для достижения поставленных целей [1].

С точки зрения авторов создание интеллектуальных сетей в электроэнергетике КР должно заключаться в разработке алгоритмов, методов, программных комплексов и устройств, которые связаны между собой в единую систему с помощью информационных и коммуникационных каналов.

Для достижения заявленной цели необходимо создать в первую очередь систему интеллектуальных измерений, которая подразумевает под собой не только обычные функции сбора информации, но и ее продвинутой обработки, то есть база для решения поставленной цели — создание системы мониторинга и оценки состояния систем электроснабжения. Именно в рамках этой системы рационально применять алгоритмы работы с большими массивами данных для обеспечения надежной и качественной работы системы [2].

На первом же этапе создания современных интеллектуальных электроэнергетических систем они должны строиться на интеграции традиционных систем и процессов в энергетике с новыми коммуникационными технологиями и целостной многоуровневой автоматизированной системой управления.

В электрических сетях и системах Кыргызстана возможно применение различных устройств FACTS, но предпочтение при прочих близких технико-экономических характеристиках должно отдаваться тем устройствам, которые обладают способностью глубокого регулирования реактивной мощности, высокого быстродействия, оптимизации потокораспределения мощности, ограничения токов короткого замыкания. В первую очередь необходимо развернуть комплексную работу по выбору и проектированию пилотных электросетевых проектов, на которых могут быть внедрены технологии FACTS. Это проекты второй цепи ЛЭП-500 кВ Юг-Север; ПС-500 кВ «Датка» и «Кемин»; каскад Камбаратинских ГЭС; каскад Верхнее-Нарынских ГЭС и Каракеченская ГРЭС.

### **Литература**

1. Интеллектуальные сети как способ повышения надежности ЭЭС ограниченной мощностью. Известия КГТУ им. И. Раззакова. Мамакеева А. К. Бишкек, 2013 г.
2. Создание интеллектуальной технологической платформы для повышения энергоэффективности транспорта, распределения и потребления электроэнергии мегаполисов Кокин С. Е., Паздарин А. В. Энергетика глазами молодежи — 2017. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара, 2017 г.

*М. Б. Кызылтаев, студ.; Д. Т. Конушбаева асп.;  
рук. Т. Т. Джунуев к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)*

## **АНАЛИЗ КВАЗИУСТАНОВИВШИХСЯ ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ**

Расчёт динамической устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) или её упрощённая оценка позволяет установить, сохранила ли ЭЭС устойчивость после внезапного возмущения, можно ли её обеспечить с помощью управляющих воздействий, а также по каким сечениям система делится на части. Получение информации о динамической устойчивости сразу после возмущения позволяет затем весь расчёт длительного переходного процесса проводить упрощённо, без учёта взаимных качаний роторов генераторов. Действительно, если первые одно-два качания не нарушают устойчивости, то последующие затухающие качания также её не нарушат. Дальнейшие возмущения, обусловленные действиями противоаварийной автоматики, например АЧР, приводят к сравнительно небольшим качаниям, но ими также можно пренебречь. В то же время длительный переходной процесс характеризуется изменением мощностей генераторов и нагрузок, перераспределением потоков мощности, в результате чего возможно нарушение устойчивости параллельной работы. Однако такое нарушение можно классифицировать как нарушение статической устойчивости, а для его определения достаточно проанализировать динамику частоты или общее движение всей системы.

На основании изложенного, в данной работе введены основное упрощающее допущение — пренебрежение электромеханическими колебаниями взаимных углов между роторами генераторов. Согласно этому допущению предполагается, что мгновенные значения частоты во всех точках системы одинаковы и равны среднему в данный момент времени значению. Ускорения всех роторов генераторов системы также одинаковы. Тогда весь длительный переходной процесс с момента возмущения и до установления послеаварийного режима можно представить в виде серии квазиустановившихся послеаварийных режимов.

Результаты расчета показали, что анализ длительного переходного процесса сводится к анализу общего движения всей системы, т. е. к следующим один за другим квазиустановившимся режимам и проверке каждого из них на устойчивость. Если устойчив каждый из режимов, то длительный переходной процесс не приводит к нарушению устойчивости. При расчете квазиустановившихся режимов может быть использована такая же модель электрической системы, как и при расчете обычных нормальных режимов. При этом дополнительно учитывается изменение мощности нагрузок, изменение потерь в схеме при переходе от одного квазиустановившегося режима к другому.

### **Литература**

1. Жданов П. С. Устойчивость электрических систем. — М.-Л.: ГЭИ, 1948. — 400 с.
2. Анализ устойчивости длительных переходных процессов. Джунуев Т. А., Таабалдиева Н. Д., Мамбетова К. М. Благовещенск: Издательство Амурского государственного университета, 2011.

*Н. Т. Кармышов, студ.; К. А. Малдыбаев студ.;  
рук. Н. Д. Таабалдиева, к. т. н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)*

## **СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Основной задачей расчетов статической устойчивости в нормальной и ремонтных схемах в процессе эксплуатации является проверка возможности схемы сети по выдаче мощности, выявление ограниченной по статической устойчивости или по условию токовой загрузки элементов сети и уровней напряжения в расчетных узлах, как в нормальных, так и в послеаварийных режимах.

В данной работе проведен анализ статической устойчивости энергосистемы Кыргызской Республики, которая исследуется электроэнергетической системой ограниченной мощности.

На примере энергосистемы Юга Кыргызстана рассмотрены условия статической устойчивости с учетом реальных перетоков по ВЛ-220 кВ по основным критериям статической устойчивости, выявлены условия, при которых системы сохраняет устойчивость.

Одной из основных проблем сети Юга Кыргызской энергосистемы являлась ограниченность выдачи мощности с Курпсайской (800 МВт), Ташкумырской (450 МВт) и Шамалдысайской (240 МВт) ГЭС. Через энергоузел включающий в себя Курпсайскую ГЭС и ПС Кристалл связь с энергосистемой осуществлялась через четыре ВЛ-220 кВ:

- ВЛ-220 кВ КГЭС-Торобаев (2\*АС-300 Ином-1380 А, Рном-540 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл-Кызыл-Рават (2\*АС-300 Ином-1380 А, Рном-540 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл-Сардор (АС-300 Ином-690 А, Рном-270 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз (АС-400 Ином-825 А, Рном-330 МВт).

При фактической располагаемой мощности трех ГЭС 1490 МВт, возможно, было выдать в энергосистему не более 1350 МВт, в основном из-за токовой загрузки ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз. При номинале в 825 А данная линия загружалась до 1000 А. После ввода в работу первого гидрогенератора на Камбар-Атинской ГЭС-2 подключенного к данному энергоузлу через Курпсайскую ГЭС по сетям 110 кВ, величина запертой мощности увеличилась еще на 120 МВт.

Проведенные расчеты показывают, что запас устойчивости по напряжению в узловой точке при утяжелении режима соблюдается. При этом разница в значениях  $U_{кр}$  по различным критериям устойчивости составляет около 1%.

### **Литература**

1. Жданов П. С. Устойчивость электрических систем. — М.-Л.: ГЭИ, 1948. — 400 с.
2. Таабалдиева Н. Д. Полная модель исследования переходных процессов электроэнергетических систем с ограниченной мощностью. Известия КГТУ им. И. Раззакова № 27, Бишкек 2012

*Т. Т. Бекешов, студ.; Г. Ш. Эралиева асп.;  
рук. Т. Т. Джунуев к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)*

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ**

В статье приводятся практические условия и пределы применяемых критериев методов малых колебаний для анализа статической устойчивости электроэнергетических систем ограниченной мощности на примере одной станции.

Все применяемые в «настоящее время практические критерии статической устойчивости  $\frac{dP}{d\delta} > 0$ ;  $\frac{dQ}{dU} < 0$  и т.д. при известных, установленных выше условиях соответствуют критерию П. С. Жданова, т.е. требованию положительного знака у свободного члена характеристического уравнения. Следовательно, применение практических критериев статической устойчивости, даже при выполнении условий, указанных выше, не учитывает возможности самораскачивания и может дать ответ на вопрос, возможно ли в системе аperiodическое нарушение статической устойчивости, лишь в том случае, если знак критерия исследуется, начиная с заведомо устойчивого режима, при его ухудшении вплоть до исследуемого режима. Если при этом знак практического критерия статической устойчивости не изменяется, то исследуемый режим устойчив при указанных выше предположениях. Применение практических критериев значительно проще, чем определение знака у свободного члена характеристического уравнения (критерия П. С. Жданова).

В данной работе рассмотрев физический смысл наиболее часто применяемых практических критериев статической устойчивости для электроэнергетической системы ограниченной мощности, можно прийти к следующим выводам:

1. Все практические критерии позволяют судить о статической устойчивости системы только при аperiodических процессах, т.е. при отсутствии возможности самораскачивания.
2. При указанных выше допущениях устойчивость проверяется путем выяснения знака производной по «сомнительной» координате, входящей в состав критерия, — начиная с заведомо устойчивого режима, при ухудшении его вплоть до исследуемого режима.

### **Литература**

1. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем // Под ред. А. Жукова. — М.: Энергия, 1979. — 456 с.
2. Статическая устойчивость ЭЭС Кыргызской республики. Джунуев Т. А., Джунуев Т. Т., Абдылдаева М. Т. Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32–1. С. 197–201.

Ш. Н. Бодурова, маг.;  
 рук. Б. М. Гиёев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОДНОФАЗНОГО АПВ НА ВЛ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Однофазное автоматическое повторное включение линий электропередачи (ОАПВ) считается эффективной мерой повышения надежности энергоснабжения по одноцепным ВЛ сверхвысокого напряжения (СВН) [1]. Кроме того использование ОАПВ на ВЛ со СВН обусловлено уменьшением объема действий автоматики предотвращения нарушения устойчивости.

В данной работе рассмотрена разработка программной и математической модели ОАПВ на линии СВН. Программная модель разработана в среде моделирующего комплекса PSCAD [2]. В модели для линии использованы параметры реальной электрической сети высокого напряжения. Время срабатывания устройств РЗ и ОАПВ выбраны в соответствии действующих нормативно технических документаций.

В программе на основе имеющихся компонентов и предусмотренных моделей линии электропередачи создана модель линии с логикой управления выключателем, рис. 1.

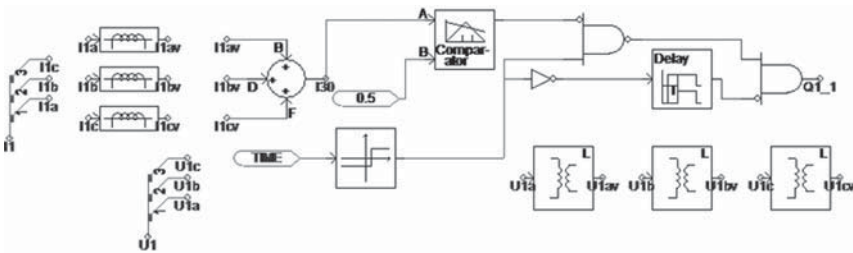


Рис. 1. Собранная в PSCAD модель для имитации работы ОАПВ

Благодаря широкой функциональности комплекса PSCAD разработанная модель дает возможность при симуляции оценивать ее работоспособности.

Планируется разработанную модель в дальнейшем использовать для исследования вопросов устойчивости энергосистемы при работе ОАПВ на ЛЭП сверхвысокого напряжения.

### Литература

1. **Беляков Н. Н., Кадомская К. П., Левинштейн М. Л.** Процессы при однофазном автоматическом повторном включений линий высоких напряжений/ — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
2. EMTDC Transient Analysis for PSCAD Power System Simulation: User's Guide v4.5. — Winnipeg, Canada, Manitoba-HVDC Research Centre.

*И. Б. Холов, маг.;*  
*рук. Б. М. Гиёев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО РЗА

Применение реальных микропроцессорных устройств защиты и автоматики в учебном процессе дополнительно к стендам на базе электромеханических элементов будет способствовать улучшению качества усвоения предметов по направлению релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем. На кафедре РЗАЭ ТТУ имени академика М.С. разработан стенд, позволяющий проводить и экспериментально исследовать работы защиты и автоматики трансформаторной подстанции напряжением 35/10 кВ. На рис. 1 показан внешний вид лабораторного стенда.



Рис. 1. Внешний вид универсального лабораторного стенда по РЗА

В лабораторном стенде для защиты двухобмоточного трансформатора применяется устройство серии *MiCOM P633*. Реальный двухобмоточный трансформатор напряжением 0,4/0,22 кВ используется в качестве защищаемого объекта и соответственно, исследование защиты трансформатора с использованием современного микропроцессорного терминала проводятся в реальных условиях.

Для защиты линии (модель линии напряжением 35 кВ) используется терминал типа *Бреслер-0107.200.К*.

Для исследования защиты кабельной линии с реальной двигательной нагрузкой установлен терминал типа *БМРЗ-101-КЛ-01*.

Нажатием соответствующей кнопки создается предусмотренные по схеме виды повреждения и реализации функции защиты и автоматики.

*Дж. Рахмонзода, магистр;  
рук. Х. С. Сангов, к.т.н., ст. преподаватель  
(ТТУ имени академика М. С. Осими)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ВЫСОКОГОРНОМ МУРГАБСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

В высокогорном Мургабском районе Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Республики Таджикистан (РТ) имеется большое число удаленных потребителей энергии, таких как метеостанции, пастбищ, пограничные заставы, объекты специального назначения, электроснабжение которых осуществляется от автономных дизельных электростанций. Способ доставки топлива таким потребителям от опорных баз топливоснабжения (расстояния от административного центра ГБАО до районного центра Мургаба 320 км) реализуется только автомобильным путем. За счет высокой транспортной составляющей стоимость топлива возрастает в 1,5–2,0 раза и более. В результате при отпускной цене на дизельное топливо 517–582 \$/т стоимость его после доставки может достигать 775–905 \$/т [1]. Высокая стоимость топлива оказывает негативное влияние на технико-экономические показатели работы местных дизельных электростанций (ДЭС). Тариф на электроэнергию в базовом 2020 г. для населения ГБАО РТ (в том числе и в районе Мургаб) составляет 0,260 сомони/кВт·ч (~0,0275 \$/кВт·ч). Себестоимость вырабатываемой энергии достигает 0,32–0,45 \$/кВт·ч, что в 10–16 раз выше, чем при централизованном электроснабжении. Поэтому в удаленных населенных пунктах очень остро стоит вопрос об экономном использовании привозного дизельного топлива. Одним из возможных направлений его экономии может быть использование местных возобновляемых источников энергии, в том числе энергии ветра. [2]. В работе оценена транспортная составляющая в затратах на топливо, доставляемое небольшим рассредоточенным потребителям для использования на местных дизельных электростанциях (ДЭС). Рассмотрен вопрос о возможном участии ветроэнергетических установок (ВЭУ) в электроснабжении удаленных потребителей, расположенных в районе с повышенным потенциалом энергии ветра. Выполнена технико-экономическая оценка возможного участия ВЭУ в покрытии графика электрической нагрузки.

### **Литература**

1. Sangov K. S., Tsyruk S. A., Mikheev D. V., Giyoev B. M., Charafeddine K. F. Economic efficiency of using a windmill for supplying power to remote rural consumers in the republic of Tajikistan. В сборнике: Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019. 2019. С. 1047–1053.
2. Сангов Х. С., Цырук С. А., Михеев Д. В., Шарафеддин К. Ф. Экономическая эффективность использования ветроэнергетической установки для электроснабжения отдаленных сельских потребителей Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2019. Под общей редакцией Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюгиной. 2019. С. 330–344.



*О. Х. Саидов, студ.;*

*рук. Б. С. Джамолзода, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК»**

В работе рассматривается разработка учебного лабораторного стенда для выполнения студентами лабораторных работ по монтаж и наладка электрооборудования.

Данный лабораторный стенд содержит в себя девять лабораторных работ, каждый из которых дает в краткой и компактной форме будущему специалисту всю необходимую информацию о конкретной его задаче. Таким образом, в лабораторный стенд можно выполнит такие вопросы как сборка и проверка нереверсивной и реверсивной схем управления асинхронным двигателем, схема управления электродвигателя с помощью контролера LOGO! 230RC, измерение сопротивления заземления и сопротивление грунта, измерение полного сопротивления петли фаза-ноль, изучение принцип и монтажа устройство защитного отключения, определение характера повреждения в кабельных линиях, фазировка силовых трансформаторов, контроль изоляции в электроустановках с изолированной нейтралью напряжение свыше 1000 В, проверка одновременности включения и измерения значения переходного сопротивления трехполюсного выключателя [1].

Стенд имеет модульную конструкцию, и предусматривает использование готовых модулей, в которых уже смонтированы элементы электрических цепей.

Лабораторный стенд предназначен для обучения студентов электроэнергетических специальностей высших учебных заведений, изучающих предмет «Монтаж, наладка, эксплуатация, ремонт электроустановок». Стенд также может быть использован для обучения учащихся профессионально-технических университет и слушателей отраслевых учебных центров повышения квалификации инженерно-технических работников.

Данный лабораторный стенд созданы с применением новейшего оборудования и программного обеспечения.

В настоящие дни внедрение в учебный процесс лабораторного стенда «Монтаж и эксплуатация электроустановок» крайне необходимо и позволит повысить эффективность подготовки выпускников.

### **Литература**

1. **Костин В.Н.** Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения. Учебное пособие. — СПб.: СЗТУ, 2004. — 184 с.

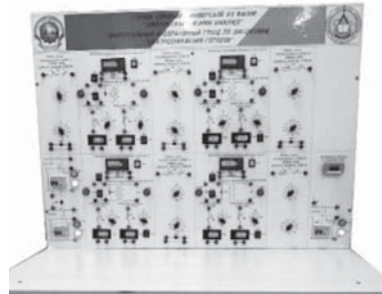
*Ш. Ш. Шарипов, студ.;*  
*рук. Б. С. Джамолзода, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ»**

Учебно-лабораторного стенда «Электроснабжения городов» предназначен для проведения лабораторно-практических занятий в учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования, для получения базовых и углубленных профессиональных знаний и навыков.

Учебно-лабораторный стенд позволяет решить следующие задачи: натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с односторонним питанием; натурное моделирование установившегося режима работы фазы распределительной электрической сети с двусторонним питанием; определение потери активной мощности в распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме; измерение и определение параметров режима замкнутой (кольцевой) районной распределительной электрической сети; оценка влияния разницы напряжений на шинах центров питания на потерю активной мощности в местной распределительной электрической сети, выполненной по петлевой схеме, при ее работе в замкнутом режиме; схемы с АВР со стороны напряжения 380 В, потокораспределение в замкнутых сетях напряжением 380 В; схема замкнутой сети с АВР при напряжении 6–10 кВ; схема сети с устройствами автоматического избирательного резервирования (ВИР) [1]. Внешний вид учебно-лабораторного стенда представлен на рис. 1.

В настоящее время внедрение лабораторного стенда «Электроснабжения городов» в учебный процесс считается своевременным весьма актуальным, позволяющий еще глубже и шире освоить знание студентов в области проектирования и эксплуатации городских электрических сетей.



**Рис. 1.** Внешний вид учебно-лабораторного стенда

### **Литература**

1. **Козлов В. А.** Городские распределительные электрические сети. — Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. — 224 с.

*Ф. С. Собиров, PhD.; рук. М. В. Шамсиев, к. т. н., доцент  
(филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА АД С КЗ РОТОРОМ**

Во время пуска двигатель должен развивать повышенный момент, необходимый, во-первых, для преодоления момента сопротивления разгоняемой машины и, во-вторых, для зарядки кинетической энергией инерционных масс. В связи с этим двигатель потребляет большое количество энергии, что выражается увеличенным пусковым током из сети и повышенным нагревом обмоток.

Повышенный нагрев при пуске создает ограничения для двигателей электроприводов, требующих частых пусков (несколько сотен или тысяч раз в час; например, во вспомогательных устройствах прокатных станков; в некоторых металлорежущих станках-автоматах; крановых механизмов, буровых установок и др.)

Общими недостатками классических способов является сложность, дороговизна и как следствие снижение надежности, а изменение конструкции обмотки предполагает отказ от серийных двигателей, что также нецелесообразно. Нами предлагается способ включения индуктивности в статорную цепь двигателя через неуправляемый выпрямитель, то есть исключаются какие-либо переключатели или электронные схемы управления и как следствие повышается надежность.

Кроме того, следует учесть, что, индуктивность остается в цепи постоянно и, следовательно, её действие проявляется не только при пуске, но и при резко-переменной нагрузке, т. е. она играет роль постоянного «электрического демпфера».

Разработана инженерная методика основных параметров индуктивной катушки [1, 2].

Рассмотрена возможность распространения данного подхода к высоковольтным электрическим сетям, т. е. модернизация схемы включения токоограничивающих реакторов.

### **Литература**

1. Шамсиев М. В., Абдулкеримов С. А., Шамсиев А. М. Ограничение бросков тока в электроприводах, содержащих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Журнал «Электричество» 2020 № 2, с. 22–26
2. Шамсиев М. В., Шамсиев А. М. Способ стабилизации тока статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Материалы международной научно-практической конференции «Водно-энергетические ресурсы — основа реализации международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития, 2018–2028 годы» Душанбе — 2019. — с. 50–55.

А. Туйчихон, студ.; рук. С. Г. Джононаев, к.т.н.  
(ТТУ имени акад. М. С. Осими)

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЛИКВИДАЦИИ НЕУСТОЙЧИВЫХ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БАПВ И ОАПВ

Преобладающим видом аварий в ВЛ СВН являются однофазные КЗ (ОКЗ), доля которых превышает 98% [1]. При этом значительная часть ОКЗ представляет неустойчивые дуговые аварии, которые могут быть успешно ликвидированы в цикле БАПВ или ОАПВ. Если минимальная бестоковая пауза при БАПВ обычно принимается порядка 0,5 с, то в случае ОАПВ она зависит от величины токов дуги подпитки и находится в диапазоне 0,5–3,0 с. Поэтому представляет интерес проанализировать характер динамических переходов при использовании БАПВ и ОАПВ различной продолжительности и оценить уровень пропускной способности ДЭП СВН по условию динамической устойчивости. Теперь может быть

построена зависимость пропускной способности электропередачи по условию сохранения динамической устойчивости от длительности паузы ОАПВ (рис. 1). На рис. 1 также показана величина пропускной способности электропередачи по условию динамики при использовании БАПВ с длительностью паузы 0,5 с.

Использование ОАПВ в сравнении с БАПВ позволяет повысить пропускную способность дальней электропередачи по условию динамической устойчивости в 1,5–2,0 раза. Наибольший эффект даёт применение ОАПВ, если длительность паузы ОАПВ находится в диапазоне 0,5–1,0 с.

### Литература

1. Красильникова Т. Г., Джононаев С. Г. Влияние длительности паузы ОАПВ на пропускную способность электропередачи по условию динамической устойчивости // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. — 2017. — № 2. — С. 163–176.

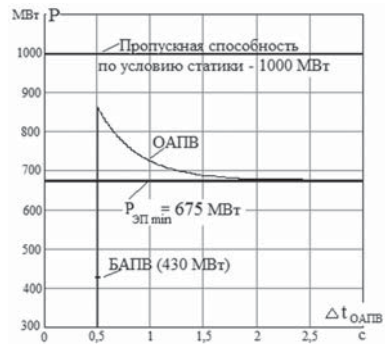


Рис. 1. Ток статора и напряжение возбуждения, при КЗ на выводах генератора

Д. С. Силемонов, магис. ;  
рук. С. Г. Джононаев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕСИММЕТРИИ

Главным источником несимметрии токов и напряжений в нормальных режимах работы электрических систем является пофазное различие электрических параметров линии. Несимметрия параметров воздушных линий обусловлена их конструктивными особенностями. Особое внимание вопросам несимметрии уделяется при создании линий СВН, поскольку их длины на отдельных участках могут достигать 500–1000 км.

На рис. 1 приведены зависимости коэффициентов несимметрии для традиционной нетранспонированной линии в зависимости от её длины. Из этого рисунка видно существенное увеличение коэффициентов несимметрии по обратной последовательности с ростом длины линии. Так, для реальных длин линии 400–600 км коэффициенты несимметрии по току обратной последовательности находятся в диапазоне (4,2–5,4)%, а по напряжению обратной последовательности — в интервале (1,9–2,5)%.

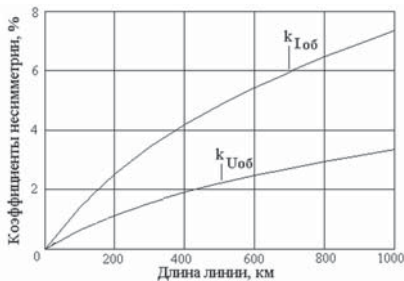


Рис. 1. Коэффициенты несимметрии для традиционной нетранспонированной трёхфазной ВЛ СВН при различных длинах

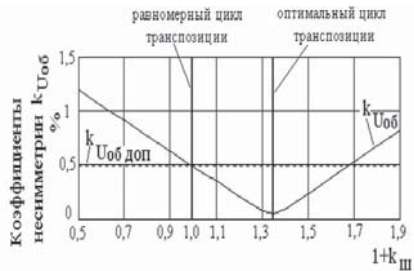


Рис. 2. Влияние неравномерности цикла транспозиции на коэффициенты несимметрии

Увеличение шага транспозиции на среднем участке (Рис. 2) примерно на 30% для ВЛ длиной 500–600 км по сравнению с равномерными шагами приводит к снижению коэффициентов несимметрии почти на порядок. Как показали расчёты, с увеличением длины рассматриваемой линии степень увеличения шага транспозиции на среднем участке несколько увеличивается, и для линий длиной 600–1000 км соответственно составляет  $k_{ш, опт} = 0,35–0,45$ .

### Литература

1. Красильникова Т. Г. Анализ несимметричных режимов в дальних электропередачах в фазных координатах [Текст] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2008. — № 2. — С. 223–226.

*М. С. Саидализода, магис.;*  
*рук. С. Г. Джононаев, к.т.н.,*  
*М. А. Балаев (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **АНАЛИЗ ВТД И ВН В НЕТРАНСПОНИРОВАННЫХ ЛИНИЯХ БЕЗ ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА**

В тех случаях, когда в примыкающих системах имеются достаточные запасы реактивной мощности, нет необходимости устанавливать ШР в линиях сравнительно небольшой длины, по крайней мере, в пределах 200 км.

Для ликвидации неустойчивых ОКЗ в этом случае может быть использовано ОАПВ, основанное на автоматическом шунтировании аварийной фазы (АШФ) с помощью быстродействующих шунтирующих выключателей [1].

Для расчётов в этой схеме также может быть получен простой алгоритм в матричной форме для расчета ВТД и ВН при наличии вторичной дуги в произвольной точке линии на — ой фазе подобно тому, как это было сделано для схем с ШР.

Результаты расчётов режима ОАПВ с использованием АШФ в нетранспонированных линиях сведены в таблицу 1. Проведенный анализ показал, что в промежутке между расшунтированием фазы и включением линейных выключателей (период расшунтирования), который составляет (0,20–0,30) сек.

**Таблица 1.** Основные результаты осуществления ОАПВ с использованием АШФ в нетранспонированных линиях

Номинальное напряжение, кВ	Длина линии, м	ВТД для аварийных фаз, А			tОАПВ, сек
		a	b	c	
750	100	0,66	0,59	0,59	0,5
	200	2,6	2,3	2,3	
1000	100	0,82	0,72	0,72	
	200	3,2	2,9	2,9	

В нетранспонированных линиях, не оснащенных шунтирующими реакторами, эффективной мерой для ликвидации неустойчивых однофазных коротких замыканий оказывается ОАПВ с автоматическим шунтированием аварийной фазы, позволяющее иметь минимальную паузу ОАПВ 0,5 сек.

### **Литература**

1. Красильникова Т.Г., Джононаев С.Г. Сравнительный анализ способов ликвидации неустойчивых однофазных коротких замыканий в нетранспонированных линиях сверх- и ультравысокого напряжения // Электричество. — 2017. — № 11. — С. 22–29.

*А. Акпарзода, студ.;*

*рук. М. Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **О ПОВЫШЕНИИ НАДЁЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ**

Режим Для электроснабжения селитебных территорий городов старой постройки в основном применяются петлевые схемы распределения электроэнергии, как напряжением до 1000 В, так и свыше 1000 В. Это обусловлено, тем, что основная масса потребителей селитебных территорий городов приравниваются к электроприёмникам 3-й категории. Бесперебойность электроснабжения потребителей приравненных к 1-й категории электроприёмников обеспечивается выборочной автоматизацией с высокой стороны и контакторной станцией на вторичной стороне при установке двух трансформаторов на потребительских подстанциях. Также на стороне высокого напряжения применяются многолучевые сквозные магистрали с однострансформаторной или двухтрансформаторной подстанциями.

В нынешних условиях, когда на селитебных территориях городов происходит массовое возрастание потребителей электроэнергии приравненных по бесперебойности питания к электроприёмникам 2-й и 1-й категории, петлевыми схемами с частичной автоматизацией не всегда возможно обеспечить надёжность питания всех потребителей, в особенности на напряжения до 1000 В.

В соответствии с этим является очевидным переход к полностью автоматизированным электрическим сетям, а также постепенный переход к более глубокому изучению целесообразности внедрения замкнутых распределительных электрических сетей на селитебных территориях городов на напряжение 380 В и 10 кВ по опыту западно европейских стран и США.

Опыт использования полностью автоматизированных электрических сетей, где каждая схема электрической сети имеет автоматические устройства с избирательной локализацией места повреждения и включения резервного элемента, имеется только в некоторых городах РФ и Украины. На остальной территории бывших Советских Республик опыта применения таких схем отсутствует. Также отсутствует опыт применения замкнутых сетей. Поэтому для их внедрения следует исходить из опыта РФ, западноевропейских стран и США, где такие схемы находят применения давно. Отличие между двумя последними схемами незначительны для понимания, но существенны с технической и экономической стороны, а также их эксплуатации. Анализ этих двух схем показывает, что для условий городов нашей страны наиболее предпочтительным является использование западноевропейского варианта схем, как наиболее простой в эксплуатации, чем США.

*Н. С. Исозода, студ.; рук. М. Д. Додхудоев, к.т.н., доц.  
рук. С. Р., Ниёзи, к.т.н., ассист (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЦЕХОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Известно, что основными электроприёмниками на промышленных предприятиях (ПП), являются асинхронные электродвигатели с замкнутым ротором, напряжением до 1000 В. Доля их в электропотреблении на ПП составляет более 70%. Они же являются основными потребителями реактивной мощности. Протекание реактивной мощности по элементам электрической сети вызывает дополнительные потери активной мощности. Для их снижения целесообразно уменьшить протекание реактивной мощности по элементам электрической сети. Этот вопрос чаще всего решается на вводе ГПП, для удовлетворения требований электроснабжающей организации. Однако при этом распределительные сети напряжением до 1000 В и свыше 1000 В самых предприятий не принимаются во внимание. Тем самым происходит огромные потери активной мощности от протекания реактивной мощности по выше упомянутым сетям.

В докладе путём технико-экономического сравнения вариантов обосновывается применения индивидуальной компенсации реактивной мощности асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, включением компенсирующего устройства, непосредственно к зажимам электродвигателей в глухую, после пускорегулирующего аппарата электродвигателя. При этом в качестве средств компенсации реактивной мощности могут быть использованы малогабаритные силовые конденсаторные батареи, устанавливаемые совместно со шкафом управления электродвигателя. При незначительной мощности, конденсаторы могут быть встроены в шкаф управления электродвигателя. Такой способ компенсации реактивной мощности освобождает электрических сетей промышленных предприятий от протекания по ним реактивной мощности всей сети, начиная от зажима электродвигателя. При неизменном сечении проводов и жил кабелей низковольтной сети, потери активной мощности в них от протекания реактивной мощности составляет более 20%, что приводит к экономии затрат на генерацию электроэнергии до 5%.

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях, показали, что подключение конденсаторных батарей к зажимам асинхронных электродвигателей приводит к снижению пусковых токов электродвигателей и соответственно пиковых токов в узлах схемы электроснабжения. Это приводит к снижению колебания напряжения в узлах схем электроснабжения, что позволяет осуществить совместное питание силовых и осветительных установок от одного силового трансформатора, даже при очень частых пусках электродвигателей.



*Ш. М. Иброхимов, студ.;  
рук. М. Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ имени акад. М. С. Осими)*

## **О ВЫРАВНИВАНИИ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Городские и сельские потребительские трансформаторные подстанции (ПТП) из-за неравномерности потребления электроэнергии в течение суток коммунально-бытовыми потребителями, потребителями общественных организаций и учреждений, имеют неравномерные графики электрических нагрузок с утренним и вечерним максимумом, и большой провал в дневные и ночные часы суток. Число часов максимума нагрузок ПТП и питающих их кабелей не достигает 1000 часов. В г. Душанбе, где более 50% жилых и общественных зданий обеспечиваются зимой централизованным отоплением и горячим водоснабжением, нагрузка распределительных сетей в зимнее время также значительно снизилась. Соответственно уменьшился коэффициент загрузки трансформаторов и распределительных линий напряжением до 1000 В и свыше 1000 В. Это приводит к не рациональному использованию распределительных электрических сетей городов и сельских населённых пунктов.

В условиях Республики Таджикистан, где отсутствует природный газ, недостаточно древесины, а в большинстве городов отсутствует централизованное отопление и горячее водоснабжения, основным и практически единственным источником энергии используемого для нужд населения, как в городах, так и в сельских населённых местах, является электрическая энергия, которая в основном вырабатывается на гидравлических электрических станциях. Выработка электрической энергии на ГЭС делает её более доступной из-за относительно низкого тарифа на электроэнергию. Так или иначе, наряду со всей разнородной нагрузкой жилых и общественных зданий в зимний период основной нагрузкой распределительных электрических сетей являются отопление и горячее водоснабжения. Это нагрузка также наряду с нагрузкой электроплит для приготовления пищи, участвует и в максимуме нагрузок указанных сетей.

На основании изучения графиков электрических нагрузок ПТП и соотношение расхода электроэнергии на обычную бытовую нагрузку, и нагрузку на отопление в одном из районов г. Душанбе в докладе обосновываются мероприятия по выравниванию графиков нагрузок ПТП. В частности для этой цели предлагается применения специальных электрических печей с отключением их в часы максимума нагрузок и включение их на полную мощность во время ночных и дневных провалов нагрузок ПТП. Для включения электрических печей в часы минимума нагрузок ПТП и их отключение в часы максимума нагрузок ПТП могут использоваться специальные автоматические устройства, а также диспетчерская служба сети.

*Dzh. Dzh. Bobokhonov, student, hands. S. R. Niyosi, Ph. D., Ass. M. A. Balaev, docent Assoc. (TTU named after ak. M. S. Osimi)*

## **ON THE QUESTION OF STRUCTURAL ANALYSIS OF ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRIC NETWORKS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

Every year, the actual losses in the networks reach 20% of the incoming electricity to the distribution networks, and power supply companies make a lot of efforts to reduce electricity losses.

At the same time, the problem of electricity losses during its generation and transmission is currently very serious in the electrical networks of all countries, and in turn in the electrical networks of the Republic of Tajikistan.

Based on this, this paper considers the issue of structural analysis of the loss of electricity in the electrical networks of the republic of tajikistan. First, initial data were collected on the state of the level of electricity loss in the electrical networks of the Republic of Tajikistan [1–3]. After that, the level of electricity losses for each electric grid of the Republic of Tajikistan was analyzed.

From the result of the analysis, it became clear that high levels of electricity losses are in OJSC «Penjikent gor.ES», OJSC «Rashtskie ES» and OJSC «Dushan-binskie gor.ES».

The sections of the distribution network with a voltage of 10 kV of JSC «Dushanbe Gor.ES» were modeled to assess the loss of electricity.

Modeling was carried out using the RAP-10 st software package by the method of average loads. The results obtained made it clear that in the 10 kV distribution networks of the city of Dushanbe, the level of loss is 13%. Based on this, it was proposed to develop measures in 10 kV distribution networks of Dushanbe Gor.ES OJSC.

Measures have been developed to reduce the loss of electricity in 10 kV distribution networks in Dushanbe. Proceeding from the developed measures, it became clear that if OJSC “Dushanbe Gor.ES” uses this measure, the costs for the proposed measure are 6.2 years. This is to say that the payback period of the proposed activities is less than 10 years which is adopted.

### **Литература**

1. **Информация** за 2020 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». [Электронный ресурс] <http://www.barqitojik.tj> (Дата обращения 03.10.2020 г.).
2. **Потери электроэнергии** при её транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю. С. Железко. — М: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.
3. **Чоршанбиев С. Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

**Секция 60**  
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**  
**ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ**  
**Special issues of electric power industry**  
**in Eastern Europe**

---

*Председатель секции: к. т. н., доцент Ткаченко Сергей Николаевич —  
заведующий кафедрой «Электрические станции»  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»*

*Секретарь секции: к. т. н. Гуляева Ирина Борисовна —  
доцент кафедры «Электрические системы»  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»*

*Д. А. Яцык, студ.; А. Ю. Фёдоров, асп.;  
рук. А. В. Левшов, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ГОРОДСКИХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В мире все больше нарастает обеспокоенность относительно экологических проблем, связанных с использованием ископаемых энергетических ресурсов. В связи с этим последние 15 лет очень активно продвигается идея создания, так называемых, «умных» электроэнергетических систем (ЭЭС), или, как принято их называть на западе — Smart grid (SG), Micro grid (MG составная часть SG) [1,2]. В совокупности данные системы представляют собой ЭЭС с распределенной генерацией электрической энергии (РГЭЭ), т.е. это сеть, включающая в себя большое число возобновляемых источников энергии (ВИЭ) малой мощности, а также накопителей энергии (НЭ), внедренных в существующие сети электроснабжения. Такие преобразования создают большое количество технологических вопросов и проблем, связанных с управлением и режимами работы таких ЭЭС.

Эта работа посвящена математическому моделированию фотоэлектрической установки (ФЭУ) в структуре городской сети электроснабжения [3,4]. Для создания математической модели использовались средства программного пакета Matlab/Simulink. Созданная математическая модель позволяет анализировать и прогнозировать режим работы ФЭУ в структуре сети электроснабжения. Так же в созданную модель внедрен алгоритм оптимального («умного») распределения генерируемой мощности и прогнозирования уровня поступающей солнечной радиации в заданной географической точке.

### **Литература**

1. «The European Technology Platform Smart Grids: national and regional Smart Grids initiatives in Europe», Brussels, April, 2015
2. **Кобец Б. Б., Волкова И. О.** «Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SmartGrid». — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.
3. **Фёдоров А. Ю., Левшов А. В.** Расчет и анализ прогнозируемой генерации солнечной фотоэлектрической станции / Научный журнал «Аспект», «Наука, образование и техника: итоги 2013 года», № 24 (Т. 2) ISSN 2307-2733, Донецк, 2013. — С. 86–93.
4. **Фёдоров А. Ю., Левшов А. В.** Моделирование систем с распределенной генерацией и исследование режимов их работы / Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция «Общество, наука, инновации» (НПК-2016), Киров, ISBN 978-5-98228-111-1, — С. 2104–2113

*Е. Е. Носач студ.;  
рук. И. А. Бершадский, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ПОСТРОЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ТМ-25/10/0,38 кВ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЕГО НАГРЕВА**

Силовые трансформаторы (СТ) — наиболее дорогостоящие элементы в системе электроснабжения [1]. Максимальная загрузка трансформаторов на предприятиях редко превышает 60%. Данная ситуация, в частности, обусловлена тем, что тепловые процессы в масляных трансформаторах до конца не изучены [2]. Требуется разработка усовершенствованной методики по расчету нагрузочной способности трансформаторов, базирующейся на основных положениях МЭК и ГОСТ. На основе тепловой модели могут быть рассчитаны тепловые параметры масляных трансформаторов 10/0,4 кВ, т. е. температуры наиболее нагретых точек обмотки, масла и магнитопровода. Главными факторами, ограничивающими нагрузку трансформаторов, являются максимально допустимые температуры их основных частей и тепловой износ их изоляции. Каждый из этих параметров не должен превышать определенного критического значения по [3]. Нестационарные тепловые процессы в такой модели описываются системой диффуравнений процесса нагревания при заданной температуре охлаждающей среды и начальных условиях, а также при известных выделяемых мощностях. Параметры схемы замещения находятся расчетным путем и определяются паспортными данными трансформатора. Электрическая схема, эквивалентная тепловой, получена для двухобмоточного трехфазного СТ марки ТМ-25/10/0,4. Для температуры окружающей среды +20°C время нагрева масла при предварительном коэффициенте загрузки трансформатора  $k_1=0,7$  и коэффициенте перегрузки  $k_2=1,5$  до допустимой по ГОСТ температуры +95°C составит 4,09 ч. Значение допустимого времени перегрузки трансформатора рассчитано также для  $k_2 = 1,3..2$ .

### **Литература**

1. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 448 с.
2. **Зализный Д. И.** Использование тепловой модели для теоретических исследований тепловых процессов в масляных трансформаторах 10/0,4 кВ // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. — 2001. — № 3–4. — С. 51–60.
3. **ГОСТ 11677-85.** Трансформаторы силовые. Общие технические условия: <http://docs.cntd.ru/document/gost-11677-85> (дата обращения: 15.08.2020). — Текст: электронный.

*Е. А. Яковлева, студ.;*  
*рук. В. А. Павлюков, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ВЫБОРА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ В УЧЕБНОЙ САПР**

Для повышения надежности АЭС и живучести отдельных электростанций с парогазовыми и газотурбинными установками в их системах с.н. в качестве систем аварийного электроснабжения устанавливаются мощные дизель-генераторные (ДГ) станции. При их проектировании применяются методики, основанные на математическом моделировании электромеханических переходных процессов от источников соизмеримой мощности с использованием пакета Matlab [1].

Моделирование режимов пусков и самозапусков асинхронных двигателей (АД) в учебной САПР [2] осуществляется методом последовательных интервалов с решением на каждом шаге систем алгебраических уравнений по методу узловых потенциалов для многоузловых расчетных схем. Глубокопазные АД системы с.н. из-за эффекта вытеснения тока в роторе имеют нелинейные зависимости параметров от частоты вращения АД. В учебной САПР реализована математическая модель АД по [3], имеющая большую точность по сравнению с уточненной формулой Клосса, не учитывающей этот эффект.

Для моделирования каскадных пусков АД от ДГ в учебной САПР была использована методика [4], основанная на аналитическом решении уравнений Парка-Горева для синхронного ДГ в одноузловой расчетной схеме. Для перехода от одно- к многоузловой расчетной схеме был разработан эффективный метод, аналогичный известному методу эквивалентного генератора.

Отладка алгоритма моделирования каскадных пусков была выполнена в пакете MathCAD с последующей реализацией в учебной САПР. По разработанной проектной процедуре были выполнены расчеты каскадных пусков в системе с.н. Калининградской ТЭЦ-2 по ее расчетной модели, созданной на кафедре электрических станций МЭИ по [1]. В дальнейшем планируется выполнение аналогичных расчетов для Сочинской ТЭС.

### **Литература**

1. **Жуков В. В.** Электрическая часть электростанций с газотурбинными и паро-газовыми установками: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. **Павлюков В. А., Ткаченко С. Н., Коваленко А. В.** Учебная САПР электрической части станций и подстанций. Донецк: Изд-во «Цифра», 2016.
3. **Павлюков В. А., Ткаченко С. Н.** Совершенствование методов идентификации параметров эквивалентных схем замещения глубокопазных асинхронных двигателей // Электричество. 2018. № 10.
4. **Гришин В. И.** Пуск асинхронного двигателя от генератора соизмеримой мощности // Электричество. 1971. № 7.

*В. С. Дударев, студ.;*

*рук. Д. В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ФАЗНЫХ ТОКОВ СТАТОРА**

Благодаря простоте обслуживания и эксплуатации асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) являются наиболее распространенным приводом различных механизмов промышленных предприятий и собственных нужд электростанций. Однако высокая повреждаемость АД может вызывать значительный ущерб у потребителей. Снизить ущерб от аварийных остановок, а также расходы на ремонт позволяет диагностирование АД.

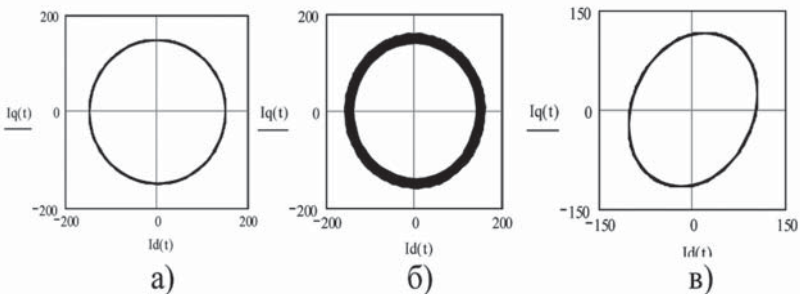
Широкое распространение получили методы диагностики состояния АД, основанные на контроле тока статора. В работе [1] показано, как с помощью составляющих вектора Парка  $I_d$  и  $I_q$  контролируется исправность обмоток АД и стержней КЗР.

Проведенные исследования показали эффективность использования для контроля состояния АД функциональных зависимостей мгновенных значений фазных токов статора или их соотношений, например зависимость  $I_d(t)=f[I_q(t)]$ , при этом  $I_d(t)$  и  $I_q(t)$  определяются как:

$$I_d(t) = I_a(t) - I_b(t)/2 - I_c(t)/2; \quad I_q(t) = \sqrt{3}I_b(t)/2 - \sqrt{3}I_c(t)/2,$$

где  $I_a(t)$ ,  $I_b(t)$ ,  $I_c(t)$  — мгновенные значения токов статора АД.

Зависимость  $I_d(t)=f[I_q(t)]$  для исправного АД представляет собой правильную окружность с центром в начале координат (рис. 1, а). При наличии повреждения эта окружность деформируется. По форме окружности можно определить вид и степень дефекта (рис. 1, б, в), а также поврежденную фазу.



**Рис. 1.** Зависимость  $I_d(t)=f[I_q(t)]$ : а) для исправного АД; б) при обрыве стержней КЗР; в) при витковом замыкании в обмотке статора

### **Литература**

1. С.Е. Kim et al. The fault diagnosis of rotor bars in squirrel cage induction motors by time stepping finite element method // IEEE Trans. Magn. — vol. 33. — Mar. 1997. — P.P. 2131–2134.

*И. Р. Нестеренко, студ.;*  
*рук. И. А. Бершадский, д. т. н. (ДОННТУ, Донецк)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ КОМПАНИИ CSOFT**

В настоящее время бурно развиваются компьютерные технологии, в этой связи также набирают все большую популярность системы автоматизированного проектирования. Данная тенденция обусловлена сокращением сроков проектирования за счет более высокой скорости вычислительных процессов, а также более высокому объему обрабатываемой информации. На данный момент существует достаточно много импортных систем автоматизированного проектирования. В связи с этим ведется активное импортозамещение продуктами Российского производства. В качестве яркого примера можно привести пакета прикладных программ компании CSOFT, с помощью которого выполнена данная работа. В данный пакет (Energy CS) входят программно-вычислительные комплексы, позволяющие рассчитывать режимы энергосистем рассматривать различные сценарии возможных аварий.

В рамках работы был взят участок сети, которая питается от системы с номинальным напряжением 220 кВ. Участок сети состоит из 7 подстанций с номинальным напряжением 35 кВ, из них 5 двухтрансформаторных и 2 однострансформаторные. Питание потребителей осуществляется номинальным напряжением 10 кВ. В ходе проведения работы была оценена эффективность работы данного участка сети в зависимости от его удаленности по отношению к источнику питания с учетом изменения конфигурации сети. В качестве параметров, характеризующих эффективность работы, были рассмотрены: коэффициент загрузки трансформаторов, отклонение напряжений для шин трансформаторных подстанций, а также величина токов короткого замыкания в заданных точках.

### **Литература**

1. **Левшов А. В., Джура С. Г., Бершадский И. А.** Введение в электротехнические САПР группы компаний CSOFT. — Донецк: ДОННТУ, 2017. — 152 с.
2. **Старшинов В. А., Пираторов М. В., Козина М. А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В. А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.
3. **ГОСТ 32144-2013.** Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения — М., 2014.
4. **Меламед А. М.** Правила устройства электроустановок. — 7-е издание — Под ред. А. М. Меламед. — М.: НЦ ЭНАС, 2011. — 552 с.



*Р. Б. Мирзалиев, студ.;*  
*рук. Д. В. Бажутин, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Алгоритмы распознавания объектов и образов применяются в самых разных областях — от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов, и сортировки. В автоматизированных системах управления электроприводами систему распознавания используют в роли датчика, обеспечивающего определение требуемого режима работы системы. Критериями для выбора алгоритма являются его быстродействие, требования к вычислительной мощности и точность.

Основные алгоритмы обнаружения объектов используют в основе математического аппарата классификацию или регрессию [1]. Для функционирования в режиме реального времени предпочтительнее использовать регрессионные алгоритмы, которые делят изображение на области, а затем исключают те из них, в которых искомым объектом отсутствует [2]. Таким образом, распознавание образов происходит только для части исходного изображения, что позволяет повысить быстродействие за счет незначительного снижения точности определения.

Рассмотрим применение алгоритмов распознавания образов на примере системы управления сортировочным конвейером. Алгоритм распознавания реализуется либо на отдельном контроллере, обладающий достаточным быстродействием и объемом памяти, либо на ПК. Во втором случае быстродействие можно значительно повысить, используя графический процессор. Скорость конвейера выбирается из условия получения достаточно четкого изображения с камеры. Результат распознавания формирует управляющее воздействие на систему управления электроприводом сортировочного устройства, например, задание на перемещение позиционного механизма. Таким образом, система распознавания образов является своего рода датчиком, по сигналу которого осуществляется управление режимами сортировки.

### **Литература**

1. **Amiya Nayak, Milos Stojmenovic.** Handbook of Applied Algorithms: Solving Scientific, Engineering and Practical Problems. — John Wiley & Sons, Inc., 2008. — 560 p.
2. **Jędrzej Świeżewski.** What is YOLO Object Detection? — 22 May, 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://appsilon.com/object-detection-yolo-algorithm/> (дата обращения 13.10.2020).

*В. О. Ларионов, студ.;*  
*рук. А. В. Светличный, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДРЕНАЖНЫХ НАСОСОВ**

Наиболее распространенным для дренажных насосов является нерегулируемый электропривод переменного тока, включение в работу которого производится по команде персонала или по срабатыванию датчика уровня. На многих предприятиях длина питающих линий для насосных установок достигает сотен метров, а двигатели работают с загрузкой 75–100% от номинальной мощности. В связи с этим, для оценки энергоэффективности таких электроустановок, необходимо учитывать потери в кабельных линиях.

Переход на регулируемый электропривод по системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель позволяет изменить алгоритм управления насосной установкой и откачивать воду по мере ее поступления. Двигатель при этом работает не на полную мощность и потери в питающих линиях снижаются. Однако, в связи со смещением рабочей точки на характеристиках двигателя и самого насоса, может снизиться их коэффициент полезного действия, что уменьшит эффективность применения регулируемого электропривода. Поэтому необходимо произвести оценку рационального диапазона глубины регулирования производительности дренажного насоса, в котором можно получить максимальный коэффициент полезного действия всей системы электропривода, включающей питающую линию, преобразователь частоты, электродвигатель и насос [1]. Для анализа были приняты энергетические показатели электроприводов насосов мощностью 7,5 и 75 кВт. Параметры питающей линии соответствуют требованиям ПУЭ [2]. Длина линий электропитания варьируется от 20 до 200 м. Проведенные для этих условий расчеты показали, что наибольшая экономия электроэнергии достигается при загрузке электродвигателя на уровне 55–65%. При таком режиме переход от нерегулируемого электропривода к системе преобразователь частоты — асинхронный двигатель (ПЧ-АД) для дренажных насосов позволяет снизить потребление электроэнергии на 1,5–9,5%. (Большие значения достигаются для длинных линий электропитания).

### **Литература**

1. **Гидравлические машины и системы технического водоснабжения:** Учеб. пособие / П. А. Трубаев, П. В. Беседин, Б. М. Гришко. — Белгород: Изд-во БелГТАСМ, БИЭИ, 2002. — 132 с.
2. **Правила устройства электроустановок.** — 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999–2005.

*С. В. Ковальская, асп.;*  
*рук. А. М. Ларин, к. т. н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ИЗ ОДНОГО ОПЫТА ВНЕЗАПНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Проведение опытов внезапного трехфазного короткого замыкания (ВТКЗ) регламентирует отраслевым стандартом ГОСТ 10169-77, действующим в странах СНГ, и международной электротехнической комиссией IEC 60034-4-1:2018 [1] экспериментальное определение частотных характеристик проводимости турбогенераторов со стороны обмотки статора только по продольной оси.

В [2] разработан метод, позволяющий повысить точность определения параметров из опыта ВТКЗ за счет исключения систематической ошибки, характерной для стандартной методики [1].

В настоящей работе этот метод совершенствуется в направлении использования результатов одного опыта ВТКЗ для экспериментального определения совокупности электромагнитных параметров одновременно как по продольной, так и по поперечной осям симметрии ротора.

Показано, что для обеспечения точности, не превышающей 5–10%, регистрация составляющих тока по осям симметрии ротора должна производиться с использованием датчиков, фиксирующих мгновенные значения токов статора в моменты совпадения продольного или поперечного положения ротора относительно оси магнитного поля статора.

Исследования влияния углового положения ротора на точность определения продольной и поперечной составляющих переходного периодического тока статора показали, что опыты необходимо осуществлять из нагруженного состояния генератора, соответствующего углу нагрузки не менее  $\delta_0 = 25^\circ$ . При меньших нагрузках ошибка в определении параметров может быть недопустимой.

### **Литература**

1. IEC 60034-4-1:2018 Rotating electrical machines — part 4-1: methods for determining electrically excited synchronous machine quantities from tests, 2018. — 147 p.
2. **Ларин А. М.** Новый подход к определению частотных характеристик синхронных машин по данным опытов внезапного трехфазного короткого замыкания / А. М. Ларин, А. А. Шеина // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: “Электротехника и энергетика” — Донецк — 2011 — № 10 (180) — С. 100–107.

Д. В. Минченко, студ. ;  
рук. А. М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА MATLAB ДЛЯ АНАЛИЗА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ДАЛЬНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аналитические исследования дальних электропередач, имеющих распределенные параметры ЛЭП, наличие на них шунтирующих реакторов и установок продольной компенсации, представляют сложную задачу.

Создание комплекса современного программного обеспечения (ПО) для ПЭВМ позволяет достаточно просто осуществлять моделирование электроэнергетических систем на основе создаваемых виртуальных моделей. К ним, в первую очередь, следует отнести пакет *PowerFactory* и приложение *Power Systems* пакета *MatLAB*).

В [1] в среде *MatLAB* разработана модель, в которой только длинная линия отображается специальным блоком *Distributed Parameters Line*. Остальные элементы учитываются постоянными индуктивными сопротивлениями. Это позволяет правильно моделировать только трехфазные короткие замыкания.

В настоящей работе совершенствуется модель, в которой все элементы электропередачи отображаются специальными блоками (рис. 1).

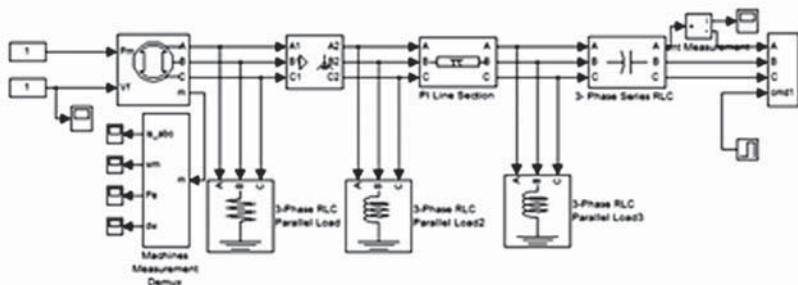


Рис. 1. Модель участка дальней электропередачи при отображении отдельных элементов специальными блоками

С учетом того, что при этом отображаются схемы соединения обмоток трансформаторов и генераторов, оказывается возможным точное моделирование как симметричных, так и несимметричных КЗ, включая однофазные.

### Литература

1. Ларин А. М. Исследование электромагнитных переходных процессов при коротких замыканиях в дальних электропередачах / А. М. Ларин, Д. О. Шамрин // Материалы 6-й международной научно-практической конференции. Инновационные перспективы Донбасса. Т. 2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. — Донецк: ДонНТУ. — 2020. — С. 109–115.

*И. Б. Семенов, студ.;*  
*рук. А. М. Ларин, к. т. н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РАСЧЕТЕ СИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ**

В общем комплексе проблем исследования переходных процессов в электрических системах актуальной является задача рационального математического моделирования синхронных генераторов (СГ) [1].

На каждом уровне расчета и анализа режимов должна использоваться эквивалентная модель, степень упрощения которой определяется целью исследования и качеством исходной информации.

Под эквивалентированием понимается преобразование сложной математической модели в более простую, в которой должны быть сохранены существенные свойства объекта. К таким свойствам СГ относится явление вытеснения тока в обмотках статора и конструктивных элементах ротора турбогенераторов, которые отображаются в частотных характеристиках проводимости со стороны обмотки статора.

В [2] предложен подход к такому упрощению, основанный на частотном методе, позволяющий выполнять исследования на основе аналитического описания переходных процессов в многомашинных системах с асинхронными двигателями, имеющими симметричный ротор.

В настоящей работе совершенствуется метод эквивалентирования СГ [1] с учетом отличия динамических параметров по осям магнитной симметрии ротора, при моделировании электромагнитных переходных процессов, вызванных симметричными короткими замыканиями.

Критерием упрощения является адекватность частотных характеристик проводимостей по обеим осям магнитной симметрии ротора любого генератора с учетом внешних сопротивлений исходной и эквивалентной схемы. Это позволяет упростить математическую модель без снижения точности отражения динамических свойств каждого генератора.

### **Литература**

1. **Наумов О.Е.** Эквивалентирование синхронных генераторов при расчете коротких замыканий в многомашинных системах / О.Е. Наумов, А.М. Ларин // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия „Электротехника и энергетика”. — Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. — Выпуск 1 (12). — С. 173–178.
2. **Ларин А.М.** Математическое моделирование многомашинных систем с асинхронными двигателями частотным методом / А.М. Ларин, О.Е. Наумов // Вестник ВНУ им. В. Даля. — 2006. — № 1. — С. 99–105.

*Е. В. Хохлов, студ.;  
рук. А. М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С АРВ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ТИПА

Требование повышения качества обучения, усиление роли самостоятельной деятельности студентов и внедрение дистанционного обучения вызывают необходимость использования современных высокоэффективных компьютерных технологий.

Существующие мультимедийные программные оболочки затруднительно использовать для создания электронных модулей, предназначенных для исследования установившихся и переходных режимов электроэнергетических систем, требующих выполнения расчетных процедур, связанных с решением дифференциальных уравнений, действиями с матрицами и др. и, следовательно, содержащих формульный материал, специфические рисунки, векторные диаграммы, осциллограммы. Поэтому требуется разработка специальных электронных пособий для исследования режимов электрических систем.

В настоящей работе разработан расчетный модуль для исследования статической устойчивости регулируемых электрических систем с генераторами, снабженными АРВ пропорционального типа.

Модуль позволяет осуществлять непосредственное определение корней характеристического уравнения, исследовать систему по критериям Гурвица и Михайлова, а так же выделять области коэффициентов усиления АРВ пропорционального типа методом  $D$ -разбиения. На рис. 1 и 2 показаны результаты исследования влияния  $T_e$  на необходимые и допустимые значения коэффициентов при работе системы с углом  $95,7$  град.

На рисунках приняты следующие обозначения: кривая 1 — минимально необходимый коэффициент усиления; кривая 2 — максимально допустимый коэффициент при  $T_e=0$  с.; кривая 3 — то же при  $T_e=0,5$  с.; кривая 4 — то же при  $T_e=1,0$  с.

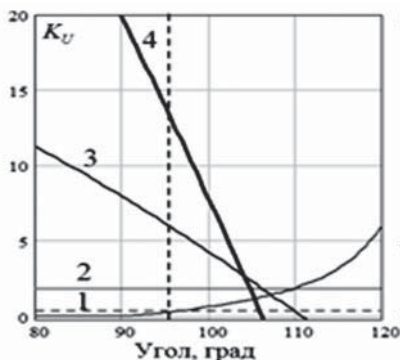


Рис. 1. Зависимости  $K_U = f(\delta)$

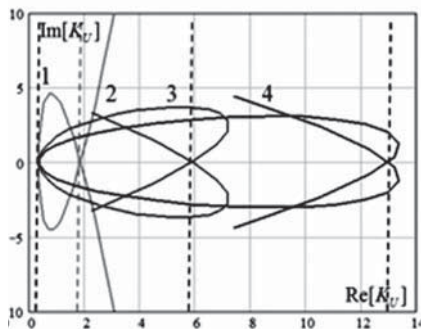


Рис. 2. Выделение областей устойчивости

*М. Н. Шевченко, студ.;*  
*рук. И. И. Ларина, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **К ВОПРОСУ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОДНОГО СЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В ЗАМКНУТЫХ СЕТЯХ**

Создание рынка электроэнергии выдвигает требование конкурентоспособности энергоснабжающих организаций, которое может быть достигнуто за счет снижения собственных издержек на ее транспорт. Этому способствует использование экономически обоснованных сечений проводов ВЛЭП электропередачи, так как по данным статистики доля потерь в них составляет около 70% от суммарных потерь сети. При использовании алюминия или меди и их сплавов с другими металлами для снижения потерь мощности требуется увеличение сечений проводов. Устойчивая тенденция к использованию унифицированных элементов ВЛЭП в мировой практике приводит к сокращению номенклатуры сечений в сторону их увеличения [1]. Это снижает активное сопротивление ЛЭП и, как следствие, уменьшает потери мощности при передаче.

Для повышения надежности сети высокого напряжения выполняются по замкнутым схемам. Практически все они неоднородны из-за использования проводов разных сечений на каждом участке сети. Поэтому в замкнутых контурах протекает уравнивающая мощность, вызывающая дополнительные потери. При использовании всей номенклатуры сечений проводов неоднородность изменяется в пределах 1,41–2,09 для сетей 35 кВ; 1,04–3,38 — для сетей 110 кВ и 3,6–6,88 — для сетей 220 кВ. Сокращение номенклатуры сечений проводов снижает неоднородность замкнутых сетей. Например, при напряжении 110 кВ при использовании рекомендованных в [2] сечениях 120 и 240 мм<sup>2</sup> неоднородность снижается в 2 раза.

В работе показана целесообразность при определенных сочетаниях мощности и длины линий использования провода одного сечения в замкнутых сетях напряжением 110 кВ при питании 2 и 3 потребителей соответственно. Мощности потребителей и длины линий варьировались в соответствии с рекомендациями по пропускной способности ВЛЭП [3].

### **Литература**

1. **Справочник** по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: ЭНАС, 2012. — 376 с.
2. **Правила устройства электроустановок.** — Харьков: Изд-во Индустрия, 2007. — 416 с.
3. **Крючков И. П.** Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для выполнения квалификационных работ: учебно-справочное пособие для вузов / И. П. Крючков, М. В. Пираторов, В. А. Старшинов; под ред. Крючкова. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2015. — 138 с.

С. Г. Волобуев, студ.;  
рук. И. Б. Гуляева, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

При длительной эксплуатации электрооборудования на поверхности и внутри системы изоляции увеличивается уровень частичных разрядов (ЧР). Со временем это приводит к повреждению оборудования. Поэтому диагностика изоляции является важной задачей. Для ее решения эффективным инструментом при оценке степени повреждения изоляции и классификации оборудования, требующего ремонта, может быть использован подход, основанный на контроле параметров ЧР [1].

Необходимым условием успешного решения задачи прогноза остаточного ресурса является наличие достаточно представительных статистических данных по кажущемуся заряду  $Q_{чр}$  и пробивному напряжению  $U_{нр}$ . Такая статистика собирается либо на образцах с аналогичной изоляцией, либо предоставляется заводами-изготовителями электротехнического оборудования. В определенных случаях для объектов, уже находящихся в эксплуатации длительное время, необходимые статистические данные отсутствуют. В этом случае, может быть предложен следующий подход к оценке остаточного ресурса. С момента начала контроля состояния изоляции необходимо на некотором интервале времени собрать статистические данные в виде зависимостей  $Q_{чр}(t)$ . По ним, используя соответствие между полученной  $Q_{чр}(t)$  и типовой  $U_{нр}(t)$  для аналогичной изоляции, искусственно воссоздаётся «статистика» по  $U_{нр}$ . Затем по этим данным аппроксимируется зависимость  $U_{нр}(t)$ . Эта зависимость позволит определять значения напряжения вплоть до  $U_p$ . Остаточный ресурс определяется следующим образом:  $t_{осм} = t_p - t_N$  [2]. Дальнейшее решение задачи прогноза остаточного ресурса сводится к обработке статистических данных с целью получения аппроксимирующей зависимости  $U_{нр}(t)$ , экстраполяции последней до значения  $U_{нр}(t_p)$  и определению отсюда  $t_p$  и  $t_{осм}$ . В работе рассматриваются вопросы использования современного прикладного программного обеспечения для обработки полученных данных. Показано, что современные методы обработки статистических данных с использованием ПЭВМ позволяют осуществлять прогнозирование с заданной степенью достоверности.

### Литература

1. Яманов С. А., Яманова Л. В. Старение, стойкость и надёжность электрической изоляции. — М.: Энергоатомиздат, 1990, 176 с.
2. Гуляева И. Б. Способ контроля изоляции электрооборудования. Патент Украины N 9577 А.



*Н. А. Ульянов, студ.;*

*рук. Д. В. Половинка, к. т. н., доц. (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)*

## **РАЗРАБОТКА РЕГУЛИРУЕМОЙ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ НАГРУЗКИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В виду того, что асинхронный двигатель (АД) является самым распространенным потребителем электрической энергии, возникла необходимость создания установки для исследования влияния качества напряжения на АД. В качестве нагрузки используется генератор постоянного тока (ГПТ) смешанного возбуждения, мощностью 3,5 кВт.

Задача — разработка системы управления ГПТ со стабилизацией заданной нагрузки с микропроцессорным управлением на валу АД.

С помощью микроконтроллера ATmega 328 (отладочная плат Arduino Uno) сняты нагрузочные характеристики путём фиксирования данных тока (два модульных датчика ACS 712) и напряжения (два датчика DC 0–25 подключены с помощью делитель напряжения) шунтовой и сириесной обмоток, скорости вращения двигателя, по которым произведен расчет мощностей на выходе генератора в зависимости от сопротивления нагрузки. Нагрузка представлена в виде десяти нагревательных элементов суммарным сопротивлением 26 Ом.

По энергетическим параметрам, полученным из расчетных характеристик, были выбраны IGBT транзисторы IRG4IBC20UD для управления подключаемой нагрузки. Для выбранного IGBT транзистора подходит управляющий драйвер IRS2609DS. IGBT транзистор необходим для поддержания постоянной нагрузки на валу двигателя.

В результате, была разработана система управления нагрузки и написан управляющий код в среде программирования Arduino IDE. Получаемые данные регистрируются в ПК с последующим анализом в среде Excel

Стабилизация нагрузки необходима для фиксации момента на валу двигателя. При подключении без использования IGBT нагрузка может быть не постоянной из-за изменения частоты вращения АД, обусловленной колебанием напряжения сети.

### **Литература**

1. **Ильинский Н. Ф.**, Основы электропривода: Учеб. пособие для вузов / Ильинский Н. Ф. — 3-е изд., Стереот. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 224 с.
2. **Макаров С. Л.**, Arduino Uno и Raspberry Pi 3: от схемотехники к интернету вещей / Макаров С. Л. — М. ДМК Пресс, 2019. — 204 с.

*В. С. Попадинец, студ.;*  
*рук. Д. И. Кузьменко, к.т.н., доц. (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТИ АРТЁМОВСКОГО РАЙОНА ГОРОДА ЛУГАНСКА**

Потери электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) важный показатель энергетической эффективности передачи и распределения электроэнергии. Сверхнормативные потери электроэнергии в электрических сетях — это прямые финансовые убытки. Сэкономленные средства от снижения потерь можно направить на техническое перевооружение сетей; увеличение зарплаты персонала; повышение надежности и качества электроснабжения; уменьшение стоимости готовой продукции. Целью работы является снижение технологических потерь электроэнергии (ТПЭ) исследуемой СЭС.

Исследования проходят на математической модели (ММ) СЭС промышленной части Артёмовского района в среде Mathcad. Модель состоит из схем замещения двух питающих трансформаторов, 14 кабельных линий 10 кВ общей протяженностью 12 км, 52 выключателя из них 8 секционных и 16 конечных потребителей. При моделировании установившихся процессов используется методом узловых напряжений [1]. ММ позволяет определять ТПЭ при различных конфигурациях схемы путём изменения состояния выключателей от включенного до выключенного и наоборот имитируя операционные переключения. При этом определяются изменения ТПЭ и значения напряжений на конечных потребителях ( $U_{\text{пот}}$ ). В ММ путем введения коэффициента загрузки потребителя моделируется суточный график нагрузки каждого предприятия, что позволяет анализировать изменения ТПЭ СЭС. Используя коэффициент трансформации, моделируется возможность ступенчатой работы РПН и РБВ всех трансформаторов, что также позволяет определять общие потери электроэнергии и напряжения в сети. Изменяя ступенчато коэффициент компенсации реактивной мощности, определяем ТПЭ и  $U_{\text{пот}}$ .

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о оптимальном режиме, к примеру, в случае неиспользования РПН в автоматическом режиме определить летнюю и зимнюю ступень по критериям ТПЭ,  $U_{\text{пот}}$ , степени компенсации реактивной мощности.

### **Литература**

1. **Сивокобыленко В. Ф.** Математическое моделирование в электротехнике и энергетике — Донецк.: ДонНТУ, 2005. — 306 с.

П. А. Олейник, студ.;  
рук. С. П. Ярёмченко, ст. пр. (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

## РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

В электроэнергетических сетях токоограничивающие реакторы (ТР) используются для ограничения токов короткого замыкания и снижения влияния резкой переменной нагрузки на других потребителей. Целью работы является разработка лабораторной установки, которая позволит проводить исследования режимов работы одинарного и двоянного ТР.

Для развития навыков и закрепления теоретических знаний в Вузе студентами производятся самостоятельные инженерные разработки, аналогичные уже известным [1].

Лабораторная установка представляет собой многоуровневую масштабированную физическую модель электрической сети и позволяет исследовать нормальный и аварийный режимы работы ТР, а также влияние на осветительную сеть двоянного ТР при наличии ударной нагрузки. В качестве измерительных приборов используются 6 цифровых измерительных приборов DT890 В. Для повышения электробезопасности работы студентов лабораторная установка гальванически развязана с основной сетью.

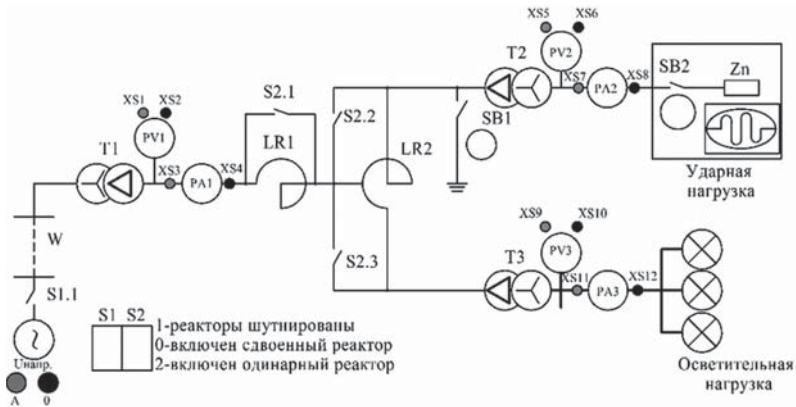


Рис. 1. Мнемосхема лабораторной установки

### Литература

1. Сайт учебная техника и наглядные пособия от производителя «Учтех-профи» [электронный ресурс] / Режим доступа: открытый. URL: <http://labstand.ru/catalog/et> (дата обращения 29.10.2020 г.)

*М. Н. Ивлев студ.;*

*рук. Д. И. Кузьменко, к.т.н., доц. (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)*

## **РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В системах электроснабжения асинхронный двигатель (АД) является одним из основных потребителей электрической энергии. В системе электроснабжения региона работают сталеплавильные и чугунолитейные предприятия, что существенно сказывается на качестве электроэнергии у потребителей, подключенных к подстанциям, питающим эти предприятия. Это влияет на работу АД [1, 2]. В учебном процессе университета для закрепления теоретических знаний необходимо разработать установку для исследования влияния качества напряжения на работу АД.

Задача — создать измерительный комплекс, который позволит фиксировать изменения в работе АД при снижении качества электроэнергии (амплитудные, симметричные и гармоничные).

При проведении исследований режимов работы АД необходимо контролировать температуру. Для этого в лобовую часть статорной обмотки двигателя серии АО2-42-4 мощностью 5,5 кВт и частотой вращения 1450 об/мин помещена размером 6 мм термопара, которая подключается к прибору REX-C100FK02-M\*AN с индикацией выполняющий функцию защиты АД от перегрева. В качестве измерительного комплекса используется трехфазный счетчик электроэнергии типа Меркурий 230 AR-02 R. Счетчик позволяет определять по мимо основной функции действующие значения фазных мгновенных мощностей, токов и напряжений. Измерения частоты вращения производятся при помощи платы Arduino UNO с подключением инфракрасного датчика прерывания в качестве объекта прерываний используется диск с 12 отверстиями. При помощи аттенюатора измеренные данные регистрируются в ПК.

### **Литература**

1. **Гусаров А. А.** Влияние качества электрической энергии на тепловое состояние трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором / Наукові праці ДонНТУ — Електротехніка і енергетика. — 2008. — № 8 (140). — С. 95–97
2. **Гусев Н. В., Деметьев Ю. Н., Семенов С. М.** Потребители электрической энергии [Лабораторный практикум] — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 144 с.

И. Б. Стрельчук, студ.; рук. А. А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

## **СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ**

Изменение электрической нагрузки в электрических системах зависит от большого количества электроприёмников различных по мощности и режимам работы, что обуславливает случайный характер нагрузки. Целесообразно проанализировать результаты расчета установившегося режима (УР) электрической системы при недетерминированной модели задания электрической нагрузки. Такая задача может быть решена методами статистического моделирования.

Исследование включает в себя такие этапы: 1) имитация случайной нагрузки с проверкой качества воспроизведения числовых характеристик и закона распределения, 2) выполнение расчетов установившегося режима электрической системы для каждого значения из имитационных массивов  $P$  и  $Q$ , 3) статистическая обработка результатов расчета.

Нагрузка моделируется как система случайных коррелированных величин активной  $P$  в МВт и реактивной  $Q$  в Мвар мощности с заданным законом распределения и коэффициентом корреляции. Для практической имитации используется один из известных методов, например, метод линейного преобразования [1]. Он позволяет получить массивы значений  $P_i$  и  $Q_i$ , которые будут исходными для расчета УР работы электрической системы. Последний выполняется с помощью специализированного программного обеспечения (*RastrWin*, *PowerFactory*, и др.).

В качестве базовой схемы для исследования принята схема из 9 узлов (*IEEE-09 Bus System*), которая может быть дополнена несколькими трансформаторными подстанциями.

Результатами исследования являются статистические интегральные функции распределения параметров режима: токов, напряжений, потерь мощности в элементах сети и отклонений напряжений на шинах потребителей. Эти данные позволяют получить значения указанных величин с заданной предельной вероятностью их превышения, что соответствует принципу практической уверенности.

### **Литература**

1. **Быков В. В.**, Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. — М.: Советское радио, 1971. — 328 с.

*Д. В. Добронос, студ., С. В. Бурдюков, студ.;  
рук. С. А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПО СЛОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРА**

Эффективность управления локальными электроэнергетическими объектами в условиях децентрализации системы управления ЭЭС зависит не только от достоверности математических моделей, но и от их возможности адаптации к актуальному состоянию объекта. Целью данной работы является построение математической составляющей адаптируемой модели ТЭС, входящей в состав энергообъединения для оценки аварийных режимов работы и настройки устройств противоаварийной автоматики. Для решения поставленной цели необходимо выполнить анализ математических моделей генерирующих узлов. Обоснование минимальной по сложности математической модели турбогенератора рассматривалось в ряде работ зарубежных и отечественных учёных [1]. Современные программные комплексы типа Matlab и PowerFactory используют принятие международным стандартом модели синхронной машины — это наиболее простые по сложности модели генератора. В тоже время эти программы позволяют выполнять исследования аварийных ситуаций для сложных многоузловых схем, что дает возможность выполнять исследования переходных процессов при несинхронных АПВ и ресинхронизации синхронного генератора в энергосистеме.

В данной работе анализируется влияние электромагнитных параметров на протекание переходных процессов в турбогенераторах при различных аварийных ситуациях. Для этого в работе предложено выполнить сопоставительный анализ результатов моделирования на примере асинхронного режима и режима короткого замыкания для различных по мощности турбогенераторов при использовании различных по сложности математических моделей самого генератора. Ожидаемым результатом данного исследования будет выбор оптимальной по сложности математической модели, необходимой для исследования переходных процессов при несинхронных АПВ и ресинхронизации синхронного генератора.

### **Литература**

1. **Гришанов С. А., Свищенок Д. А.** Получение параметров математических моделей генераторов, используемых в компьютерных программах имитационного моделирования / Завалишинские чтения'19: сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2019. — С. 153–159.

*Н. В. Гавричков студ.; рук. А. А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА МОНТАЖНЫХ СТРЕЛ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ САПР**

Одним из этапов подготовки проекта воздушной линии электропередачи (ЛЭП) высокого напряжения является расчет монтажных стрел провеса проводов и тросов. При монтаже провод должен быть подвешен с таким тяжением, чтобы напряжения в проводе во всех режимах соответствовали расчетным значениям [1].

В проводах анкерного пролета с разной длиной пролетов устанавливается напряжение, соответствующее значению приведенного пролета. Поэтому стрелы провеса для отдельных пролетов анкерного участка нельзя определять по систематическому расчету провода, в котором значения стрел провеса указаны для напряжений, соответствующих фактическим пролетам [1].

На кафедре электрических систем ДонНТУ разрабатывается учебно-исследовательская (УИ) САПР воздушных ЛЭП высокого напряжения, которая имеет модульную структуру и включает модули систематического механического расчета провода и троса, поиска оптимальной расстановки промежуточных опор в анкерном пролете, расчета пересечения воздушной ЛЭП. Разрабатываемый модуль расчета монтажных стрел провеса провода и троса расширяет возможности УИ САПР воздушных ЛЭП.

Для автоматизации инженерных расчетов широко используются математические пакеты, например, *Mathcad*, *SMath Studio*.

Расчет предполагает определение стрел провеса провода для различной температуры окружающей среды. Зависимость стрел провеса от температуры практически линейна. Обычно температуры задаются в диапазоне от  $-40$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . В разрабатываемом модуле желаемый диапазон температур может быть задан пользователем произвольно.

Результаты расчетов монтажных стрел для провода и троса с помощью разрабатываемого модуля представляются в виде таблиц.

### **Литература**

1. **Крюков К. П., Новгородцев Б. П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979, 312 с.

*П. В. Носарь студ.; рук. А. А. Булгаков, к. т. н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРАТИЧНОГО ИНЕРЦИОННОГО СГЛАЖИВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

При решении ряда задач в системах электроснабжения возникают вопросы, связанные с нелинейными динамическими преобразованиями случайных электроэнергетических процессов. Такие задачи находят применение при развитии теории электрических нагрузок и оценке электромагнитной совместимости (сетевые помехи).

В исследовании изложение ведется на примере задачи расчета нагрева проводника случайным процессом изменения тока с нормальным распределением ординат и экспоненциальной автокорреляционной функцией. Структурная схема квадратичного инерционного сглаживания случайного электроэнергетического процесса [1, 2] состоит таких блоков: взвешивающий фильтр, квадратор, инерционное звено первого порядка, блок извлечения квадратного корня. На вход поступает случайный процесс изменения тока с заданными числовыми характеристиками. Искомыми являются расчетные максимумы (квантили) приведенного инерционного процесса изменения тока, определяемые с заданной граничной вероятностью их превышения.

Точное аналитическое решение для подобных задач в общем виде неизвестно. Статистическое моделирование дает возможность получить статистически точные решения. Результаты статистического моделирования могут быть проверены с помощью тестовых задач, некоторых частных случаев преобразований, когда все же удастся найти аналитическое решение. При моделировании квадратичного инерционного сглаживания случайного процесса тока тестовой задачей будет выступать случай при задании нулевой инерционности.

### **Литература**

1. Куренный Э. Г., Дмитриева Е. Н., Булгаков А. А. Статистическое решение задачи о квадратичном инерционном сглаживании случайных электроэнергетических процессов / Изв. РАН. Энергетика. — 2016. — № 4. — С. 109–122.
2. Булгаков А. А. Статистическое моделирование нелинейных преобразований случайных процессов изменения параметров режима и ЭМС систем электроснабжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Булгаков Александр Александрович. — Новочеркасск, 2018. — 24 с.



*М. В. Чудновский, студ.;  
рук. С. А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОЦЕНКА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Выключатели служат для включения и отключения элементов электрических систем, и главным образом для отключения токов КЗ. Отключающая способность выключателей определяется конструктивными особенностями и условиями эксплуатации [1]. Ресурс выключателей ограничен. Отключение тока КЗ сопровождается дуговыми процессами на контактах и в дугогасительной камере. Отключение тока КЗ приводит к потере определенного ресурса выключателем. После того, как израсходован весь ресурс, выключатель необходимо вывести в ремонт для проведения ревизии его состояния. Ревизия выключателя и его ремонт часто связаны с необходимостью отключения присоединения, при котором прерывается электроснабжение потребителей или существенным образом снижается надежность участка сети.

Рациональная эксплуатация выключателей позволяет более чем вдвое уменьшить расходы на их техническую поддержку. Эксплуатационные исследования позволили установить допустимое число отключений между ревизиями для различных значений токов КЗ [2]. При отключении предельного тока КЗ число отключений невелико. Для токов КЗ построены кривые, указывающие зависимость использованного ресурса  $a$  в процентах от значения отключаемого тока КЗ. Чтобы использовать данные о ресурсе выключателей, их нужно оснастить приборами фиксации токов КЗ, которые отключаются выключателем. Частоту ревизий можно существенно уменьшить, если известно сколько КЗ отключено отдельными фазами выключателя. Данная работа посвящена разработке специализированного программного обеспечения, позволяющего определять остаточный коммутационный ресурс выключателей любого типа по данным зафиксированных токов КЗ. А также предложена методика, позволяющая прогнозировать остаточный ресурс по данным токов КЗ в начале и конце защищаемого участка.

### **Литература**

1. **Старшинов В. А., Пираторов М. В., Козина М. А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В. А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.
2. Методические указания по определению расхода коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации / М-во топлива и энергетики Рос. Федерации; [Исполн. И. Л. Шлейфман]. — М.: ОргрЭС, 1992. — 18 с.

*М. В. Козина, студ.;*  
*рук. С. А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Обеспечение устойчивой работы электрических станций в электрической системе зависит от раннего выявления будущего состояния системы. Чем более своевременно будет выявлено возможное нарушение взаимной устойчивости станций, тем раньше можно введением управляющих воздействий не допустить или, по крайней мере, локализовать аварию. Таким образом, повышение эффективности оперативного управления электрическими системами связано со своевременным распознаванием режима работы системы. Одним из таких подходов является использование методов экспресс-оценки устойчивости электрических систем. Это методы, использующие в основном в качестве информативных параметров значение взаимного угла между генераторами и их производные. В ряде работ [1–2] на примере простейшей схемы: генератор, работающий на шины бесконечной мощности, были получены зоны устойчивых и неустойчивых режимов и проанализированы полученные результаты. В основу данной работы положена задача адаптации методов экспресс-оценки для выявления зон устойчивых и неустойчивых режимов в многомашинной системе и анализ полученных результатов. Для решения задачи использовался программный комплекс PowerFactory, как инструмент, предназначенный для моделирования аварийных ситуаций в сложной многоузловой схеме. В качестве аварийной ситуации принималось затяжное КЗ в контрольных точках системы с последующим его отключением. По результатам расчета угла  $\delta$  и его производных были построены зависимости, ограничивающие области допустимых и недопустимых режимов. Если в момент отключения повреждения производные угла  $\delta$  положительны, то это означает, что послеаварийный режим неустойчив и угол  $\delta$  будет продолжать расти. Если после отключения  $d\delta/dt$ ,  $d^2\delta/dt^2$  отрицательны, то режим устойчив.

### **Литература**

1. **Веников В. А., Асамбаев С. Н.** Экспресс-оценка устойчивости процесса по его начальной стадии / Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1986. — № 3. — С. 22–25.
2. **Гришанов С. А., Щетинин В. В.** Анализ существующих подходов для оценки допустимости режимов работы электрических систем / Инновационные перспективы Донбасса. Материалы 4-й международной научно-практической конференции. — Донецк.: ДонНТУ, 2018. — С. 167–171.

*В. В. Куцеголов, студ.;*  
*рук. Д. Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ YOLOV3**

В процессе эволюции у людей возникли новые потребности и задачи. Очень часто объект труда или его местоположение представляет угрозу для человеческого организма. В первое время для решения этих задач создавали орудия труда, которое минимизировало вредное воздействие на человека. В процессе развития электроники и техники начали создавать роботов, которые могут решать данные задачи без участия человека.

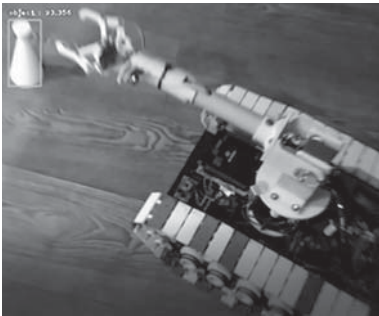
При создании любого мобильного робота, который будет перемещаться на плоскости без участия человека, необходимо создать систему управления электроприводом, а также снабдить робот датчиками для обработки информации о начальных, текущих и конечных координатах движения.

Для реализации алгоритмов движения была создана мобильная платформа, имеющая гусеничное сцепление, что обеспечивает роботу с повышенной проходимостью. Использование двигателей с энкодерами позволяет с одной стороны осуществлять одометрию движения робота, с другой стороны — использовать замкнутую систему регулирования скорости или положения [1]. Подобные системы реализованы на базе микроконтроллера STM32F407VE, управляющего мобильным роботом.

Для определения конечной точки на борту робота расположена видеочамера, транслирующая изображение на компьютер. Последний использует алгоритм

распознавания объекта (object), который базируется на предварительно обученной нейронной сети типа YOLOv3 и обрабатывает видео покадрово (рис. 1). Выбор данной нейросети обусловлен отсутствием больших вычислительных мощностей для обучения, а также высокой скоростью распознавания. В каждом кадре формируется задание в виде координат конечной точки, которые передаются на микроконтроллер.

В результате получена система управления мобильным роботом с ручным и интеллектуальным управлением.



**Рис. 1.** Работа YOLOv3

### **Литература**

1. **Костырко Б. А., Мирошник Д. Н.** Планирование траектории движения мобильного робота с дифференциальным приводом в Matlab // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 6-й Межд. н-практ. конференции. — Донецк: ДОННТУ, 2020. — Т. 2. — С. 95–101.

*Д. О. Петренко студ.;*

*рук. Д. Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМ ИНВЕРТОРОМ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ**

В современном мире в связи с ухудшением экологической ситуации, а также с ростом цены на ископаемое топливо, всё чаще популяризируются и субсидируются альтернативные источники электроэнергии. К таким источникам можно отнести солнечную электроэнергию, генерируемая мощность которой с каждым годом увеличивается. При этом в литературе не уделяется достаточно внимания вопросам разработки устройств, преобразующим энергию солнца в сеть.

Целью данной работы было разработать прототип системы управления сетевым инвертором солнечной фотоэлектрической панели на базе современного микроконтроллера.

Для этого на первом этапе в программном пакете MATLAB была составлена имитационная модель, в которой система управления обеспечивает поиск точки максимальной мощности фотоэлектрической панели (с учетом изменения погодных условий), автоматическую синхронизацию с сетью и максимум коэффициента мощности сети.

В результате моделирования установлено, что для правильного функционирования системы необходимы два датчика напряжения и два датчика тока на стороне сети, а так же датчик тока и напряжения на стороне солнечной фотоэлектрической панели. Из пассивных элементов обязательными являются дроссели [1] и конденсаторы, устанавливаемые со стороны сети. Для настройки системы управления необходимо знать только электрические параметры дросселя, после чего её работа становится полностью автоматической.

На следующем этапе модель системы управления преобразована в проект на языке «С» для микроконтроллера серии STM32F4. Для этого она дополнена блоками периферии из библиотеки MAT-Target. В дальнейшем с помощью пакета SimulinkEmbeddedCoder [2] сгенерирован проект.

### **Литература**

1. **Петренко Д. О., Шиянов А. А., Бондаренко Е. А., Мирошник Д. Н.** Разработка силовых некомплектных элементов // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 5-й Межд. н-практ. конференции. — Донецк: ДОННТУ, 2019. — Т.2 — С. 122–130.
2. **Романенко Ю. Д., Захаров А. В., Петренко Д. О., Мирошник Д. Н.** Разработка системы управления электроприводом инвалидной коляски Invacare Storm XS на базе STM32F401CC // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 6-й Межд. н-практ. конференции. — Донецк: ДОННТУ, 2020. — Т.2 — С. 222–228.

*А. В. Лабеев, студ.;  
рук. Д. Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

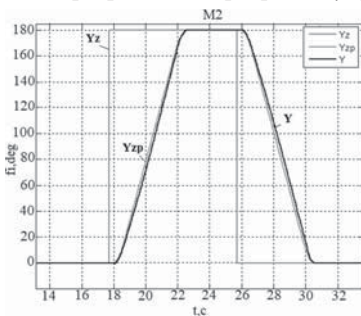
## **РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯТОРА С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ И УСТРОЙСТВА СХВАТА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО НАЗЕМНОГО РОБОТА**

Наземные мобильные роботы-манипуляторы очень востребованы в разных сферах деятельности. Являясь, по сути, приемниками электрической энергии они позволяют производить разнообразные виды работ в опасных или труднодоступных для человека местах. При этом манипуляторы являются важнейшими частями подобных мобильных платформ.

Целью работы является разработка подобного манипулятора с тремя степенями свободы для установки на мобильную платформу.

В начальном этапе был предложен вариант конструкции в программе SolidWorks, а затем реализован с помощью 3D печати. Совместное использование программ SolidWorks и Matlab (приложение SimMechanics), позволило достаточно точно определить механические параметры манипулятора, действующие в сочленениях робота, с целью корректного выбора двигателей. Для разработанной конструкции выполнено решение прямой и обратной задачи кинематики на примере трехзвенного манипулятора с креплением к мобильной платформе.

На втором этапе обоснована принципиальная электрическая схема устройства и разработана программа управления манипулятором для микроконтроллера



**Рис. 1.** Вращение манипулятора по оси  $z$

STM32F407VE с использованием методики модельно-ориентированного проектирования [1]. В программе реализованы (рис. 1) замкнутые контуры регулирования положения ( $Y$ ), с заданием от задатчиков положения ( $Yz_p$ ). Ошибка в регулировании определяется величиной люфта редуктора двигателя, а быстродействие является достаточным для подобного механизма.

Возможность движения робота и захват объекта по заданным координатам ( $Yz$ ) реализована через связь Bluetooth со смартфоном или ПК.

### **Литература**

1. **Мирошник Д. Н., Поляков Н. Е., Сухов А. А.** Разработка мобильного робота на базе STM32F4 // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 2-й Межд. н-практ. конференции. — Донецк: ДОННТУ, 2016. — Т.2 — С. 227–230.

*Н. Н. Мирошниченко, асп.; рук. А. Н. Рак, к. т. н., доц.,  
С. В. Шлепнёв, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОПЫТ ДОНБАССА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ МЕТАНА — СЕВМОРПУТИ**

В настоящее время в РФ очень большое внимание уделяется развитию северного морского пути (СМП), как элемента единой Арктической транспортной системы в связи с увеличением потребности в перевозке грузов и добытых природных ресурсов. К этому также следует добавить, что именно на шельфе Сибирской Арктики зафиксированы мощнейшие выделения метана не антропогенного характера [1]. Как известно, метан — парниковый газ, который очень сильно влияет на разрушение озонового слоя Земли. Поэтому в настоящее время большинство государств в мире направили свои усилия на поиск методов по сокращению именно выбросов метана ( $\text{CH}_4$ ) и двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ). В связи с этим в Арктике можно будет применить опыт угледобывающих районов Донбасса, где накоплен значительный опыт по утилизации метана путем его сжигания и производства электрической и тепловой энергии. Принципиально установка состоит из дегазационной установки типа, например, «КРУГ» [2] или другого типа с системой автоматического дистанционного контроля, двигателя внутреннего сгорания с непосредственным сжиганием метана и получением механической энергии для приведения в действие генератора, трансформатора. При соответствующей доработке для выработки электрической энергии также можно использовать и тепло отработавших газов дизеля, и воду из системы его охлаждения. Такой подход позволит: улучшить экологическую ситуацию; обеспечить безопасное проведение геолого-разведочных работ, предотвратить взрывы и даже гибель людей; вырабатывать тепловую и электрическую энергию на плавучих электростанциях непосредственно на местах, без использования традиционных углеводородных видов топлива.

### **Литература**

1. **Лобковский Л. И.** Метановое дыхание Арктики. [Электронный ресурс]. — URL: <http://rareearth.ru/ru/pub/20180126/03692.html> (дата обращения 26.10.2020).
2. **Аппаратура «КРУГ».** Контроль параметров работы газоотсасывающих и дегазационных установок и систем // Техническая информация. — № 3. — «ИНГОРТЕХ», 2008. — 8 с.

*Н. Н. Мирошниченко, асс.;*  
*рук. А. Н. Рак, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ТЕРМОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ ПЕРВИЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Современные автономные энергетические объекты, к которым относятся, в том числе, и морские суда, отличаются большим разнообразием эксплуатационных режимов и строгим соблюдением экологических норм [1,2]. Помимо известных мер, принимаемых по защите атмосферы от выбросов окислов серы, азота и твердых частиц, принимаются меры по защите атмосферы от парниковых газов (ПГ). Так, в соответствии с руководящими документами выбросы ПГ рекомендуется учитывать с помощью *индекса энергоэффективности*, который характеризует энергетические возможности технического средства при наименьших затратах ресурсов для выработки энергии. В настоящее время на морских судах широко применяются, так называемые, *термоэффективные системы*, которые позволяют производить электрическую энергию при утилизации тепла отработавших газов.

При этом основная проблема состоит в том, что производством всех видов энергии судне, включая и электрическую, занимаются *судомеханики*, а передачей, распределением и контролем показателей качества и количества электрической энергии — *электромеханик*, который должен иметь представление о порядке величин. Для этого нами разработана несложная методика и проведены исследования, которые позволяют определять количество генерируемой термоэффективной системой электроэнергии по паспортным данным главного двигателя.

### **Литература**

1. **Рак А. Н., Капанадзе Г. А.** Особенности определения генерирующих мощностей в термоэффективной системе судовой электостанции. В сб. I Международная научно-техническая конференция «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития». 17–19 октября 2018 г. Петропавловск-Камчатский. С. 103–106.
2. **Рак А. Н., Мирошниченко Н. Н., Журавель Е. А.** Сравнительный анализ эффективности передачи тепловой и электрической энергии потребителям. Материалы международной научно-практической конференции: Электроэнергетика: проблемы и перспективы развития энергетики региона. Душанбе, 2018. Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими. С. 270–273.

*В. Б. Данишурка, студ.; рук. Л. А. Васильев, к.т.н., доц.,  
О. В. Пеньков, ст. пр. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ**

Сложившаяся эпидемиологическая обстановка диктует необходимость перехода на длительное дистанционное образование. При этом, в частности, исключается возможность проведения лабораторных научно-исследовательских работ в лабораториях вуза на промышленных образцах оборудования. Данное обстоятельство оказывает негативное влияние на подготовку будущих специалистов.

Современное программное обеспечение дает возможность в определенной мере компенсировать этот недостаток и разрабатывать программные продукты, позволяющие как рассчитывать статические режимы, так и изучать процессы, изменяющиеся во времени [1, 2]. На кафедре «Электромеханика и ТОЭ» Донецкого национального технического университета разработаны программные продукты (математические модели, учебные видеоматериалы, виртуальные лабораторные работы) и соответствующие рекомендации, позволяющие студентам электротехнических специальностей осваивать теоретические положения читаемых дисциплин, таких как ТОЭ, электрические машины и др. Кроме того, можно сократить время на выполнение курсовых и расчетно-графических работ, проводить самостоятельные исследования различных режимов работы электрических машин, электрических и электронных цепей, наблюдать с помощью математических моделей изменение выходных координат электротехнического оборудования при произвольном изменении входных параметров, в различных аварийных режимах. Программный продукт выводит на монитор и на печать различные графические зависимости и позволяет их оценить качественно и количественно, избавляет от необходимости строить их вручную. Это экономит силы и время студента при освоении дисциплин в режиме дистанционного обучения.

### **Литература**

1. **Герман-Галкин С.Г.** Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК: Учебное пособие для ВУЗов / С.Г. Герман-Галкин. — СПб: Корона-Принт, 2017. — 514 с.
2. **Герман-Галкин С.Г.** Электрические машины. Лабораторные работы на ПК / С.Г. Герман-Галкин, Г.А. Кардонов. — СПб: Корона-Принт, 2003. — 256 с.



Я. А. Бадрак студ.;  
рук. В. И. Калашников, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

## ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Современная индустрия «зеленого» автомобилестроения разделилась на два направления. В настоящее время Toyota Mirai является самым известным примером применения водородной технологии в легковом сегменте. Преимуществом водородной установки является безэмиссионность, быстрая заправка, бесшумность двигателя. Однако высокая стоимость и взрывоопасность, а также недостаток мест для заправки, являются сдерживающим фактором внедрения водородных автомобилей [1]. Система метанольных топливных элементов по конструкции напоминает систему на водороде, только вместо сжатого водорода, в качестве топлива используется метанол. Одно из преимуществ — энергетическая ёмкость у метанола выше, чем в таком же объёме сжатого водорода, при этом сохраняются и все преимущества, например, время заправки метанолом электрокара Nathalie — 3 минуты. После запуска системы блок топливных элементов работает непрерывно, обеспечивая необходимую мощность. Эта энергия может сразу же передаваться на 4 электромотора или накапливаться в буферные батареи. Эта батарея может давать дополнительную энергию параллельно с работающими топливными элементами, что необходимо при ускорении [2]. В связи со всем вышесказанным лучшей альтернативой на данный момент будет являться использование гибрида, а в дальнейшем переход на автомобили, использующие технологию метанольного топливного элемента. Главным фактором, который недооценен, является послеэксплуатационная утилизация аккумуляторов, у водородных и метанольных двигателей такой проблемы нет. В рамках научных исследований проводимых на кафедре, результаты данной работы положены в основу создания математической модели привода электромобиля.

### Литература

1. **Александров Д.** Два оттенка зеленого. Автомобили на водородных топливных элементах против электромобилей [Электронный ресурс] / Дмитрий Александров // Тасс. — 2019. — Режим доступа к ресурсу: <https://tass.ru/tech/6816508>.
2. **Weiss C. C.** Gumpert unleashes world-first methanol fuel cell electric supercar [Электронный ресурс] / C. C. Weiss // New Atlas. — 2020. — Режим доступа к ресурсу: <https://newatlas.com/automotive/gumpert-production-methanol-fuel-cell-electric-supercar/>

*А. С. Сергиенко ст. пр.;*  
*рук. В. И. Калашников к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «ИНДУСТРИЯ 4.0»**

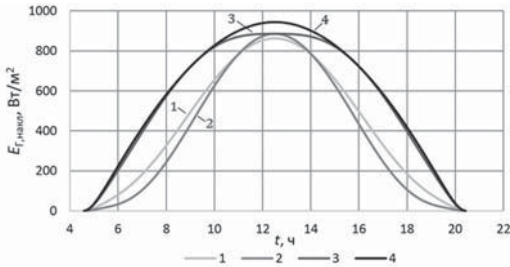
Концепция «Индустрия 4.0» впервые была сформулирована в Германии в 2011 г. и с тех пор началось активное внедрение её концепций в США, Китае, Японии и других странах. В России программа «Цифровая экономика Российской Федерации» была утверждена Правительством в июле 2017 года [1]. В рамках «Индустрия 4.0» реальный мир машин соединяется с виртуальным миром Интернет информационных технологий. Технической основой для решений «Индустрия 4.0» являются киберфизические производственные системы представляющие собой соединение мехатронных производственных технологий с компонентами информационных технологий и соответствующим объединением в сеть [2]. Внедрение «Индустрия 4.0» в различные отрасли промышленности, по мнению экспертов, обеспечивает снижение себестоимости изделий на 5–8%, а предприятия серийно производящие промышленную продукцию смогут достичь увеличения производительности на 20–30%. Широкое использование программного обеспечения увеличит спрос на персонал со знанием в области киберфизического производства (цифрового производства) и информационных технологий [3]. Подготовка специалистов с учётом изменений к требованиям квалификации сотрудников является одной из ключевых задач внедрения «Индустрия 4.0». В Донецком Национальном Техническом университете с учётом использования опыта внедрения программы «Индустрия 4.0», опыта ведущих немецких университетов и при финансовой поддержке фирмы «Сименс» разработан учебный план и создана соответствующая лабораторная база для подготовки специалистов по киберфизическим системам производства. Учитывая важность использования опыта зарубежных стран, учебным планом предусмотрено углублённое изучение немецкого языка профессиональной направленности в течении всего периода обучения.

### **Литература**

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», М; 2017 г.
2. **Н. П. Юденко** «Индустрия 4.0 в мире и России», Станкоинструмент, 2016. № 1 стр. 11–17.
3. **Christian Lerch, Angela Jäger, Spomenka Maloca** Wie digital ist Deutschlands Industrie wirklich, Fraunhofer, 2017, № 71.

Д. А. Митин, студ.; рук. В. Г. Черников, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ



**Рис. 1.** Различия плотности потока солнечного излучения для: 1 — горизонтальной поверхности; 2 — фиксировано закрепленной с углом наклона  $\gamma_E = 48^\circ$ ; 3 — одноосной (по азимуту) системы ориентации; 4 — двухосной (по азимуту и зениту) системы ориентации

ориентации состоят из довольно дорогостоящих компонентов: электропривод, микропроцессорный контроллер, датчики и т.д. Поэтому представляет интерес теоретическая и практическая оценка увеличения выработки энергии модулем с системой ориентации по сравнению с неподвижно закрепленным модулем для экономического обоснования ее применения. Такая оценка проведена в работе в соответствии с методикой, изложенной в [1]. По приведенной методике были рассчитаны плотности потока солнечного излучения для г. Донецка для четырех различно ориентированных поверхностей: горизонтальной, фиксировано закрепленной с углом наклона  $\gamma_E = 48^\circ$  (равным широте местности), ориентированной по азимутальному углу и закрепленной с углом наклона  $\gamma_E = 48^\circ$ , ориентированной по азимутальному и зенитальному углам. Результаты расчета для 21 июня приведены на рис. 1.

### Литература

1. Куашнинг Ф. Системы возобновляемых источников энергии. Технология, расчеты, моделирование: учебник / Ф. Куашнинг. — Астана: Фолиант, 2013. — 432 с.

*К. О. Савин студ.; рук. А. С. Сергиенко ст. пр. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ РОТОРА ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ ОШИБКИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ**

Теория векторного регулирования машин переменного тока с вращающимся магнитным полем исходит из предположения, что модель определения потоко-сцепления ротора (ПР) является идеальной. Вместе с тем изменения активных сопротивлений статора и ротора при нагреве, а также изменение взаимной индуктивности в зависимости от тока цепи намагничивания приводят к погрешностям определения вектора потоко-сцепления [1].

Одним из способов определения составляющих вектора основного магнитного потока (МП), используемого в дальнейшем для определения ПР, непосредственно на статоре закрепляется датчик Холла, выступающий в роли датчика положения ротора. Ещё одной возможностью для вычисления МП в воздушном зазоре является интегрирование сигнала специальной трехфазной измерительной обмотки. Вследствие влияния дрейфа нуля реальных интеграторов этот метод неприемлем при малых частотах [2].

При косвенном определении ПР пользуются исключительно расчетными методами на базе легко измеряемых величин: напряжения, тока, скорости или угла поворота ротора.

Одним из способов увеличения точности определения ПР на низких скоростях вращения ротора является применение  $i_1-i_1$ -модели с коррекцией ошибки интегрирования каждые полпериода вычисления [3], поскольку данная модель меньше подвержена влиянию помех и дрейфа нуля интегратора. Данная модель позволяет расширить диапазон регулирования электропривода до 1:100 при изменении параметров двигателя.

### **Литература**

1. **Schröder D.** Elektrische Antriebe — Regelung von Antriebssystemen. München: Springer-Verlag, 2015.
2. **Калашников В. И.** Системы векторного регулирования электроприводами [конспект лекций]. 2016.
3. **Авторское свидетельство** 1393099 СССР Устройство для определения потоко-сцепления ротора двигателя переменного тока / Калашников В. И., Власов В. Д., Рафиков Г. Ш., Галкин М. В., Власова Г. Н. 1986.

*В. С. Вояновский студ.;*  
*рук. В. Г. Черников ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Последнее время в энергобалансе наиболее экономически развитых стран, наблюдается устойчивая тенденция к росту доли возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе. Наиболее существенный прирост мощностей можно отметить в области ветроэнергетики и солнечной энергетики [1]. В этой связи актуальным является анализ темпов внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в ведущих странах, тенденции роста экономических показателей, а также анализ технических новшеств в области ВИЭ, которые расширяют область применения и повышения их энергоэффективности. Анализ литературных источников показывает, что Германия бьет рекорды в «зеленой энергетике» [2]. За 2019 год в Германии из энергии солнца и ветра было произведено больше электроэнергии, чем на АЭС и угольных ТЭС. В связи с научно-техническим прогрессом уровень электропотребления увеличивается, что заставило мировую общественность задуматься над использованием ВИЭ. Нехватка ресурсов это не единственная проблема, которая может угрожать человечеству. Не стоит забывать про то, что традиционные источники энергии (уголь, газ, нефть, атомные станции) сильно загрязняют природу выбросами токсичных отходов и  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Инвестиционные затраты на строительство электро-генерирующих мощностей на базе ВИЭ уменьшаются, особенно для ветровых и солнечных станций. Новые ВИЭ проекты уже сравнялись с себестоимостью энергии, генерируемой угольными электростанциями. Одним из перспективных направлений развития ветроустановок является применение синхронного ветрогенератора с постоянными магнитами. Проведенный в статье анализ развития возобновляемой энергетики показывает перспективность широкого внедрения ветровых и солнечных электростанций в ближайшие десятилетия, как с точки зрения экономических показателей, так и экологических аспектов, что особенно важно для разработки стратегии развития энергетики Донбасса.

### **Литература**

1. **Барина В. А., Ланьшина Т. А.** Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире // Российское предпринимательство. — 2016. — Т. 17. — № 2

*М. Р. Герасименко, студ.; рук. В. А. Павлюков, к.т.н., доц.,  
С. Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ЭНЕРГОБЛОКА ПОСЛЕ ЕЕ МОДЕРНИЗАЦИИ**

В настоящее время большое количество энергоблоков тепловых электростанций выработало предусмотренный срок эксплуатации. Поэтому актуальной задачей является модернизация оборудования технологического цикла, в том числе и электрооборудования. В 2013–2014 годах была произведена модернизация оборудования системы собственных нужд (с. н.) напряжением 6 кВ одного из энергоблоков Старобешевской ТЭС, в рамках которой была произведена замена приводных электродвигателей питательной установки (ПЭН) на асинхронные машины номинальной мощностью 5000 кВт, в качестве устройств релейной защиты и автоматики (РЗиА) всех фидеров установлены цифровые терминалы фирмы АВВ, осуществлена замена малообъёмных масляных выключателей всех фидеров на вакуумные, производства фирмы Таврида Электрик.

Проведенная модернизация потребовала выполнения поверочных расчётов токов КЗ и проверки оборудования и кабелей. Соответствующие расчёты были проведены с помощью учебной САПР, разработанной на кафедре «Электрические станции» ГОУВПО «ДонНТУ» [1], с использованием разработанной ранее расчётной электронной схемы главных электрических соединений и системы с. н. напряжением 6 кВ.

В результате проведенных расчётов были получены следующие результаты: за счёт увеличения мощности ПЭНов токи КЗ увеличились на 4,5%, вновь установленные выключатели и трансформаторы тока термически и динамически стойкие, а старые кабели сечением 70 и 95 мм<sup>2</sup> термически стойки, но не прошли проверку на невозгораемость.

Для обеспечения невозгораемости кабелей малых сечений рекомендовано на терминалах РЗиА всех фидеров уменьшить ступени селективности с 0,5 с до 0,3 с. Такие изменения предписаны противоаварийным циркуляром Ц-11-84 (Э). Последнее приведёт к уменьшению времени действия резервных защит и расчётных величин теплового импульса тока КЗ.

### **Литература**

1. **Павлюков В. А., Ткаченко С. Н., Коваленко А. В.** Учебная САПР электрической части станций и подстанций. [учебное пособие] — Харьков: ФЛП Панов А. Н., 2016. — 124 с.

*Я. С. Кошелев, студ.;*  
*рук. С. Н. Ткаченко, к. т. н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Основным типом машин переменного тока, используемых в качестве электропривода в промышленности, а также в системе собственных нужд электростанций являются асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) [1], [2]. Несмотря на относительно высокую надёжность, повреждаемость АД составляет около 25% от общего числа, находящихся в эксплуатации машин. Одним из путей снижения указанного выше объёма повреждаемости является дальнейшее совершенствование цифровых систем релейной защиты и автоматики (РЗА) присоединений кабель-АД с КЗР, за счёт дополнения стандартной защитной логики модернизированной тепловой защитой (ТЗ). В качестве базисного алгоритма была принята ТЗ, основанная на косвенном определении температуры нагрева обмотки КЗР по данным регистрации температуры нагрева обмотки статора, мгновенных значений фазных токов и напряжений цепи статора, а также скольжения [2]. Предложено производить дополнительное усреднение рассчитываемых в темпе процесса сопротивления КЗР в горячем состоянии, а также величины температуры нагрева ротора. Работоспособность ТЗ была проверена с использованием математической модели (ММ) для ПЭВМ, включающей в себя ММ присоединения «кабель-АД» на основе полных дифференциальных уравнений, а также алгоритмы усовершенствованной ТЗ и стандартных защит (токовая отсечка, защита от перегрузки и др.).

Практическая реализация усовершенствованной системы РЗА присоединения кабель-АД с КЗР планируется в виде прототипа цифрового терминала, основанного на ARM-платформе STM32F4DISCOVERY.

### **Литература**

1. **Старшинов В. А., Пираторов М. В. Козина М. А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В. А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.
2. **Сивокобыленко В. Ф., Ткаченко С. Н.** Контроль нагрева асинхронного электродвигателя по данным измерений параметров текущего режима / Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». — Харьков, 2008 — № 30. — С. 544–546.

**Направление XII**

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА  
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ  
Hydropower and renewable  
energy sources**

---

**Руководитель направления:**

к.т.н., доцент

Шестопалова Татьяна Александровна —

директор института гидроэнергетики

и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ»



**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*

*В. В. Бразовская, студ.;*  
*рук. С. С. Гутман, к.э.н., доцент (СПбПУ, Санкт-Петербург)*

## **ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ВИЭ В РОССИИ**

В последнее время многие страны разрабатывают специальные программы и стратегии развития, основываясь на сокращении вредного воздействия на окружающую среду и энергоэффективности. В этом контексте возобновляемая энергетика стала стимулом для устойчивого экономического роста и имеет большой потенциал для развития.

Целью данной работы является разработка рекомендаций и возможных направлений развития альтернативной энергетики в России. Объектом исследования — возобновляемая энергетика и её применение в РФ, а предметом — механизмы развития ВИЭ в России. Использовались общенаучные методы исследования: синтез и анализ информации, индукция и дедукция.

В результате данной работы были рассмотрены зарубежные проекты ВИЭ, а также проанализирован опыт других стран в области развития [1], описаны этапы развития ВИЭ, которые необходимо пройти России, описаны риски каждого этапа, а также способы контроля выполнения данных мероприятий.

Для значительного толчка в развитии ВИЭ необходимо использовать комплексный подход со стороны всех участников и заинтересованных сторон. Главное на данном этапе — разработать прочную законодательную базу, чтобы сделало бы проекты ВИЭ востребованными в нашей стране, а также привлекло местные и иностранные инвестиции в данную отрасль. Многие разработки сейчас находятся на стадии обсуждения, без конкретных действий и мероприятий, без указания источников финансирования. Необходимо определить ключевые регионы и местности, в которых будет выгодна реализация проектов ВИЭ вместо других источников энергии, а также принимать во внимание экологический аспект: например, использование мазута и дизеля в Арктике недопустимо в свете текущей ориентированности на сохранение природных богатств Арктики [2].

Проекты ВИЭ помогли бы решить многие проблемы — от высоких затрат на топливо и его дорогостоящей транспортировки до экологических проблем.

### **Литература**

1. **Липина С. А., Лыжин Д. Н.** Управление секторами зелёной экономики: опыт стран Европы и возможности для России // Проблемы национальной стратегии. № 3 (48), 2018. — С. 181–198.
2. **Федяков И. В.** Электроэнергетика: износ оборудования как системная проблема отрасли // Академия Энергетики. № 1, 2013. — С. 4–9.

*А. Р. Кудрявцев, студ.; рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВЕТРА ДЛЯ АКВАТОРИЙ БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ**

В научной работе рассматриваются общие вопросы разработки и верификации моделей степенной и логарифмической зависимостей вертикального профиля ветра (ВПВ) на примере акватории Белого и Баренцева морей, также в работе описана методика получения и верификации этих моделей [1]. Необходимость разработки данных моделей была выявлена при проведении расчетов средне-многолетней и среднемесячной скорости ветра на разной высоте в соответствии с рекомендациями действующего международного стандарта для морских территорий (IEC 61400-3-1:2019 ed1.0.). Анализ полученных результатов выявил, что погрешность определения средней скорости ветра в некоторых морских точках составляет более 20%, что существенно влияет на точность всех проектных показателей ветроэлектрической станции (ВЭС). Все ветроэнергетические расчеты и построение моделей ВПВ производилась по многолетним данным наблюдений на двух высотах измерений (10 м и 100 м) из БД «Ега-5» в 12-и морских точках рассматриваемой акватории [2].

Математические модели ВПВ, разработанные автором, предназначены для определения среднемесячных и среднемноголетних показателей степени и параметров шероховатости ВПВ по эмпирическим зависимостям от средней скорости ветра на высоте 10 м. в любой точке акватории Белого и Баренцева морей. Погрешность определения скорости по высоте с применением полученных автором моделей ВПВ не превышает 9% и позволяет снизить погрешность определения проектных показателей оффшорных ВЭС на ранних стадиях проектирования.

Также автором была разработана типовая обобщенная зависимость годовой вариации среднемесячной скорости ветра, позволяющая смоделировать её годовой ход только по одному среднемноголетнему значению в любой точке акватории Белого и Баренцева морей, с погрешностью, не превышающей 9%.

### **Литература**

1. **А. Г. Васьков, Г. В. Дерюгина, Н. К. Малинин и Р. В. Пугачев**, Ветроэнергетика, Москва: МЭИ, 2016.
2. IEC 61400-3-1:2019 ed1.0. Wind energy generation systems — Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines. [Электрон. ресурс] <https://catalogue.normdocs.ru/?type=card&cid=com.normdocs.iec.card.iec.61400-3-1.2019.ed1.0> (дата обращения 06.03.2020).

А. А. Сысоев, асп.; А. А. Проскурина, Н. В. Лазарева студенты;  
рук. М. Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ПЛАНИРОВАНИЮ РЕЖИМА РАБОТЫ ВОТКИНСКОЙ ГЭС

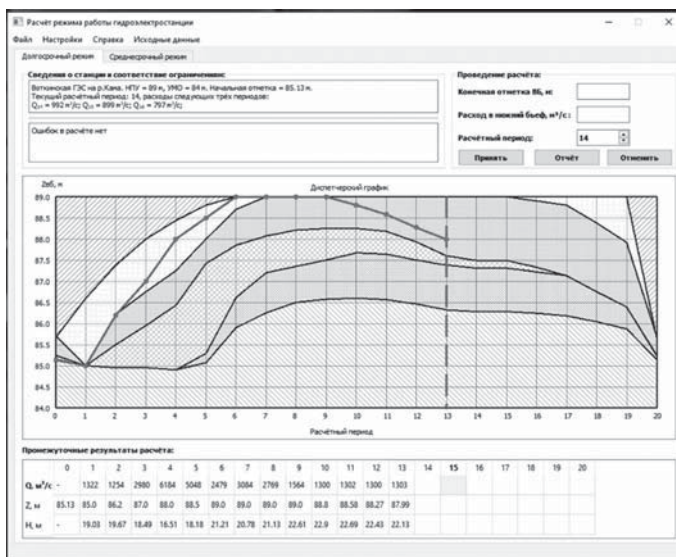


Рис. 1. Графическое изображение программного комплекса

В данной работе представлен комплекс, реализующий возможность планирования долгосрочного режима работы Воткинской ГЭС. Комплекс используется на кафедре ГВИЭ для помощи студентам при выполнении курсового проекта. Комплекс реализован на языке Python. Комплекс позволяет проводить расчёт долгосрочного режима работы ГЭС (1 календарный год) с учётом требований, указанных в правилах [1]. Расчёт для каждого периода либо с вводом конечной отметки верхнего бьефа ГЭС, либо среднего расхода ГЭС за расчётный период. В конце расчёта можно вывести отчётную таблицу, содержащую параметры по всем проведённым расчётным периодам в MS Excel. В справочном варианте можно посчитать среднесрочный режим работы ГЭС (3 расчётных периода).

### Литература

1. Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 07.11.2015 № 225. «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Кама»

*А. А. Сысоев, асп.; А. А. Проскурина, Н. В. Лазарева студенты;  
рук. М. Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВЫХ ГИДРОСТАНЦИЙ В СЛОЖНЫХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В настоящее время отсутствуют программные комплексы, которые позволяют проводить оптимизацию водно-энергетических режимов в крупных гидроэнергетических системах со сложными гидравлическими и электрическими связями.

Предлагается разработка программного комплекса, включающего оптимизацию водно-энергетических режимов в крупных гидроэнергетических системах со сложными гидравлическими и электрическими связями, учитывающий опыт использования аналогичных комплексов для конкретных каскадов ГЭС и др. гидроэнергетических комплексов [1, 2]. Программный комплекс может быть использован как для расчёта водно-энергетического режима работы отдельной ГЭС или ГАЭС (каскада станций) при планировании эксплуатационных режимов, так и для проведения расчётов в учебных и проектных целях.

В данном проекте планируется математическое моделирование элементов гидравлической схемы гидроэнергетических систем с ГЭС, ГАЭС и насосными станциями с учетом стохастического характера речного стока и изменчивости гидрометрических характеристик водотоков при решении задачи оптимизации водно-энергетического режима, основанное на методах искусственного интеллекта и сетевых технологиях, учитывающий современные методы и способы оптимизации каскадов ГЭС [3].

### **Литература**

1. **Тягунов М. Г.** Цифровизация и управление в распределенных энергетических системах с ВИЭ // Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н. Д. Рогалева. — М.: Издательство МЭИ, 2019, с. 187–203
2. **Васьков А. Г., Тягунов М. Г., Шестопалова Т. А.** Особенности использования малых ГЭС в распределенных энергосистемах // Труды Второй Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем — ЭНЕРГО-2012» — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 350–354
3. **Петров Г. Н.** Использование методов подобия для оптимизации параметров размещения каскадов ГЭС / Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности, сборник статей конференции, 2019

*Р. П. Шевердиев, соиск.;*  
*рук. М. Г. Тягунов, д. т. н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **3D МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА ГАРАНТИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

В настоящее время для изолированных и труднодоступных территорий России (ИТТ) со сложными климатическими условиями и низкой плотностью населения обеспечение энергоснабжения через гибридные энергокомплексы гарантированного энергоснабжения (ГЭК) с накопителями энергии (НЭ) выглядит гораздо более рентабельным по сравнению с существующими системами энергоснабжения.

На основе разработанных математических моделей и подходов по решению задачи согласования и оптимизации режимов работы разнотипных энергоустановок (ЭУ) с НЭ, описанных в работе [1], разработана 3D модель ГЭК, включающая как традиционные, так и нетрадиционные ЭУ, а также разнотипные НЭ (см. рисунок 1).



**Рис. 1.** Принтскрин экрана приложения 3D модели ГЭК

Разработанная 3D модель ГЭК позволяет исследовать его рабочие режимы в реальных условиях эксплуатации при разном составе ЭУ для любого дня года, любого заданного интервала времени и заданной территории. Результаты моделирования можно проследить как визуально, так и в графическом виде.

Предложенные методики и полученные результаты могут быть использованы при решении проектных задач по обоснованию параметров систем децентрализованного энергоснабжения потребителей в ИТТ.

### **Литература**

1. **Тягунов М. Г., Шевердиев Р. П.** Влияние режимов работы гибридных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии на определение типа аккумуляторов энергии // Вестник МЭИ. 2020. № 4. С. 62–70. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-4-62-70

А. В. Астафьев, асп.;  
рук. Р. Б. Табакаев, к.т.н., науч. сотр. (ТПУ, Томск)

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ УГЛЕРОДИСТОГО ОСТАТКА

В связи с географическими и климатическими особенностями Российской Федерации для многих регионов остается актуальной проблема обеспечения ископаемым топливом, что приводит к повышению тарифов на тепло- и электроэнергию. Вариантом решения проблемы является вовлечение местных возобновляемых источников энергии, среди которых наиболее перспективно использование биомассы. Одним из эффективных методов извлечения из биомассы энергии является пиролиз, однако эффективность его проведения зависит от многих факторов, в том числе и температуры процесса.

В связи с вышеописанным целью данной работы является определение теплоемкости углеродистого остатка, полученного при различной температуре пиролиза нескольких видов биомассы согласно методике, представленной в [1]. Полученные результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Теплоемкость углеродистого остатка пиролиза биомассы

Биомасса	Зольность, %	Теплоемкость при t, кДж/кг				
		100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
Солома	2,8	2343,1	2092,4	2199,0	1846,9	2297,2
Отруби	6,9	2337,4	2458,0	2710,6	1810,3	1981,7
Торф	22,8	1624,0	1419,8	1223,5	1152,5	1131,3

Значение теплоемкости углеродистого остатка из соломы и отрубей резко снижается при температуре 400°C, что свидетельствует о разложении основных органических компонентов в их составе — целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. При этом стоит отметить, что несмотря на близкие значения теплоемкости соломы и отрубей в исходном виде, теплоемкость углеродистых остатков с повышением температуры изменяется по-разному, что может быть связано с различной зольностью и компонентным составом. Теплоемкость углеродистого остатка из торфа постепенно снижается с увеличением температуры его получения. Данный факт указывает на то, что основной вклад в теплоемкость вносит минеральная составляющая сырья.

*Работа поддержана РФФИ (грант № 20-38-90180)*

### Литература

1. Табакаев Р. Б. и др. Изменение характеристик биомассы в процессе ее термической переработки // Сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2020». — Севастополь: СевГУ, 2020. — С. 552–555.

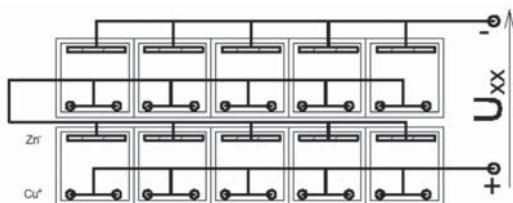
*Д. В. Фенько, студ.; рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц.; (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МАЛЫХ ЭКОСИСТЕМ

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика сейчас развивается и получает распространение в мире как никогда. Происходит усовершенствование имеющихся конструкций и пересмотрение малоизученных направлений, но с развитием технологий они могут стать не только эффективными, но и прибыльными.

Электролитические свойства почвы известны давно. Она имеет свой водородный показатель в зависимости от типа почв, места взятия пробы, наличия поблизости полезных ископаемых. Далее рассмотреть экосистему — биологическая система, состоящая из сообщества живых организмов, среды их обитания, системы связей, осуществляющей обмен веществ и энергии между ними. Между элементами системы происходит обмен химической энергией, которую мы можем использовать.

Таким образом можно провести отбор энергии для последующего использования. Для получения электроэнергии необходимо установить в почву электроды, а вода и соли, растворенные в ней будут являться электролитом для создания гальванического элемента. Созданная электрическая схема включает: несколько соединенных элементов для получения необходимых выходных параметров, преобразователь напряжения для получения достаточного количества энергии, чтобы запитать маломощные устройства.



**Рис. 1.** Схема рассматриваемой установки

### Литература

1. **А. И. Левин** «Теоретические Основы Электрохимии» — М.: Государственное Научно-Техническое Издательство Литературы По Черной И Цветной Металлургии, 1963, С. 9 –12.
2. **В. И. Лайнер, Н. Т. Кудрявцев** «Основы Гальваностегии. Часть Первая» — М.: Главная Редакция Литературы По Цветной Металлургии, 1936, 368 С.



*А. А. Проскурина, студ.; А. А. Сысоев, асп., Н. В. Лазарева студ.;  
рук. М. Г. Тягунов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СЛОЖНЫХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

На сегодняшний день проблема оптимального включения в работу гидроагрегатов как одиночных ГЭС, так и ГЭС, входящих в состав каскадов, не имеет однозначного и конечного решения [1]. Необходимо пересмотреть текущий опыт использования эксплуатационных характеристик гидроагрегатов ГЭС для максимально эффективной работы каскада и отдельной станции.

В данной работе будет проведен анализ планирования режима работы агрегатов ГЭС с учетом их эксплуатационных характеристик и технического состояния, разработка математической модели оборудования ГЭС с улучшенными характеристиками [2] для решения проблемы оптимального включения гидроагрегатов ГЭС в составе каскадов, принимая во внимание накопленный опыт по данной проблеме и используя современные методы математического моделирования на основе информационных технологий.

Итогом работы послужит алгоритм и прототип программы распределения активной мощности ГЭС между агрегатами методом динамического программирования [3] и разработка учебно-методического пособия по использованию программы для учебно-исследовательских работ.

### **Литература**

1. **Соболенко Н. А., Тягунов М. Г., Хоанг К. Т. Д., Шкурин А. Н.** Прототипная экспертная система диагностики технического состояния оборудования электростанций / Гидротехническое строительство. 1995. № 3, С. 32–37
2. **Митрофанов С. В., Арестова А. Ю., Худжасидов Д. Х., Русина А. Г.** Разработка имитационной модели работы каскада ГЭС Энергосистемы Памира // Электроэнергетика глазами молодежи, 2017
3. **Петров Г. Н.** Использование методов подобия для оптимизации параметров размещения каскадов ГЭС / Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности, сборник статей конференции, 2019

*Н. В. Лазарева, А. А. Проскурина студенты; А. А. Сысоев, асп.;  
рук. М. Г. Тягунов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАЛЫХ ГЭС**

В настоящее время проектирование и строительство малых ГЭС осуществляется по тем же правилам, что и крупных ГЭС. Методики выбора и обоснования основных параметров МГЭС также не отражены в современных нормативных и методических разработках. Также, считается, что стремительное развитие гидроэнергетики в начале и в середине XX века стало основным, если не главным, фактором экологической деградации водных объектов [1, 2].

Предлагается рассмотреть основные направления снижения стоимости строительства и эксплуатации малых ГЭС, дать рекомендации по снижению их стоимости для повышения привлекательности строительства данных объектов. Также предлагается рассмотреть экологические аспекты строительства МГЭС и экологическое влияние на окружающую среду. Дать экономическую оценку с целью разработки мероприятий, повышающих роли позитивных экологических аспектов при одновременном снижении негативных [3].

Итогом работы станут рекомендации по снижению стоимости строительства и эксплуатации малых гидроэлектростанций, а также комплекс природоохранных мероприятий. В данной работе планируется экономическая оценка жизненного цикла малой ГЭС и экологического влияния на окружающую среду [1,4].

### **Литература**

1. **Безносков В. Н., Горюнова С. В., Кучкина М. А., Попов А. В., Седакин В. П., Суздалева А. А.** Экологическая оптимизация гидротехнических сооружений: основные направления и концептуальные принципы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 4.
2. **Троицкий А. В.** Природоохранные проблемы в гидроэнергетике // Энергия. 2003. № 5.
3. **Барков К. В.** Анализ и методика оценки параметров малых ГЭС / Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Санкт-Петербург 2005.
4. **Эдельштейн К. К.** Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

*И. Ю. Шаров, асп.; С. П. Черепанов, асп;  
рук. А. С. Волков, д. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ЭНЕРГО-КАВИТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА**

Рассматриваются вопросы в исследовании и улучшении эксплуатационных характеристик центробежных насосов, на основе гидрофобизации функциональных поверхностей элементов проточной части, в рамках продолжения работ, приведенных в [1, 2].

Известно, что центробежные насосы используются в различных отраслях [3]. На обеспечение работы приводов насосов затрачивается до 30% вырабатываемой во всем мире электроэнергии. Согласно данным российской ассоциации производителей насосов и зарубежных источников традиционные методы модернизации конструкции практически исчерпали свои возможности. Одним из наиболее перспективных направлений модернизации насосов является гидрофобизация функциональных поверхностей.

Из-за высокой сложности подобных расчетов, объектами изучения на начальном этапе являются трубки, поскольку необходимо провести фундаментальные исследования по определению влияния поверхностно-активных веществ (ПАВ), на протекание потока жидкости.

Такие исследования проводились в программном пакете компьютерного моделирования FlowVision. В последствии результаты перепроверялись в программном пакете ANSYS Discovery.

Полученные результаты показали, что, ПАВ положительно влияют на энергетические характеристики потока жидкости. В следствии чего планируется провести натурные испытания на базе стендов НИУ «МЭИ».

При достоверности полученных результатов, можно будет переходить к исследованиям энерго-кавитационных характеристик насосов, функциональные поверхности которых обработаны ПАВ.

### **Литература**

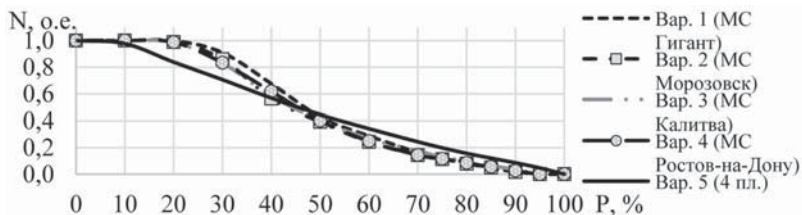
1. **Вихлянец А. А.** Повышение эксплуатационных характеристик насосного оборудования, работающего в системах тепло- и водоснабжения // Молодежный научно-технический вестник. 2016. № 9.
2. **Волков А. В.** Влияние гидрофобизации рабочих колес центробежных насосов на их эксплуатационные характеристики // Теплоэнергетика. 2016. № 12.
3. **Михайлов А. К., Малюшенко В. В.** Лопастные насосы. М.: Машиностроение, 1977.

*И. В. Антонов, студ.; рук. Г. В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, РАБОТАЮЩЕГО НА АСИНХРОННЫХ ВЕТРОВЫХ ПОТОКАХ

Целью работы является проведение исследования эффективности ветроэнергетического комплекса (ВЭК) на территории Ростовской области за счет асинхронности ветровых потоков на разных площадках ВЭС, входящих в его состав. В качестве показателя эффективности ВЭК рассматривается  $N_{p\%}/N_{уст}$  — относительное значение мощности, генерируемой ВЭК с разной обеспеченностью (75%, 90%) по ветровому ресурсу, за расчетный период, равный одному году. Определение  $N_{p\%}/N_{уст}$  производится по эмпирической кривой обеспеченности (рис. 1) [1].

Были выбраны 4-е перспективные площадки под размещение ВЭС мощностью 60 МВт, расположенные в разных частях Ростовской области, для ветровых условий которых в соответствии с IEC61400-1 была выбрана модель ВЭУ — V112/3000 (Vestas). Показатель эффективности ( $N_{p\%}/N_{уст}$ ) ВЭК определялся для 5-и вариантов его размещения: № 1–4 — ВЭК состоит из одной ВЭС в составе 20-и ВЭУ и расположен только на одной из площадок ВЭС; № 5 — ВЭК состоит из 4-х ВЭС в составе 15-и ВЭУ и расположен на 4-х площадках. В результате проведенных расчетов выявлено, что расположение ВЭК на 4-х площадках (рис. 1) за счет асинхронности ветра на этих площадках приводит к появлению мощности (около 5 МВт), генерируемой ВЭК с обеспеченностью 90%, т. е. близкой к гарантированной мощности ВЭК. Значение гарантированной мощности ВЭК в дальнейшем планируется уточнить, для этого требуется рассмотреть все возможные варианты размещения ВЭК на площадках.



**Рис. 1.** Эмпирические кривые обеспеченности значений мощности, генерируемой комплексом ВЭС, расположенным на перспективных площадках размещения

### Литература

1. **Evgenii Ignatev.** Energy efficiency increasing assessment of the wind energy complex in the united power system (Candidate of engineering sciences thesis, Moscow Power Engineering Institute (National Research University), 2019).

*А. В. Фролов, Н. А. Шевчук, студенты;  
рук. С. Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГИДРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРА С АДАПТАЦИЕЙ ДАВЛЕНИЯ ЗА НАСОСОМ К НАГРУЗКАМ НА ВЫХОДНОМ ЗВЕНЕ**

Одним из основных видов землеройных машин, применяемых при строительстве ГЭС, являются экскаваторы. Использование гидропривода позволяет обеспечить значительные усилия на рабочих органах, повысить быстродействие и, следовательно, увеличить производительность. Кроме того, гидравлические приводы характеризуются компактностью и высокой надежностью. Широкое использование экскаваторов в ходе строительства ГЭС делает актуальной задачу повышения их энергоэффективности. [1]

Наиболее распространенным является использование дроссельного или машинно-дроссельного способа управления скоростью движения выходного звена. Данные решения предполагают обеспечение постоянного давления на выходе насоса, что приводит к росту потребляемой мощности. [2]

Вместе с тем большую часть рабочего цикла гидропривод работает с нагрузками существенно меньшими максимальной. Это приводит к значительным потерям энергии, которые особенно проявляются при низких нагрузках.

В этой связи представляется целесообразным разработка гидроприводов у которых давление за насосом меняется в зависимости от уровня нагружения выходного звена. Это позволяет существенно повысить энергоэффективность и снизить потребляемую мощность. Уменьшение давления за насосом позволяет уменьшить как потери на дросселирование, так и потери в переливном клапане.

Данный путь может быть реализован как для структуры с дроссельным, так и машинно-дроссельным управлением. Для этого с помощью челночного клапана формируется управляющее давление, равное максимальному давлению в полостях гидродвигателя. Данное управляющее давление используется для настройки переливного клапана в гидроприводе дроссельного управления или регулятора насоса в гидроприводе машинно-дроссельного управления. Реализация данной структуры гидропривода позволяет существенно повысить КПД при работе в широком диапазоне нагрузок.

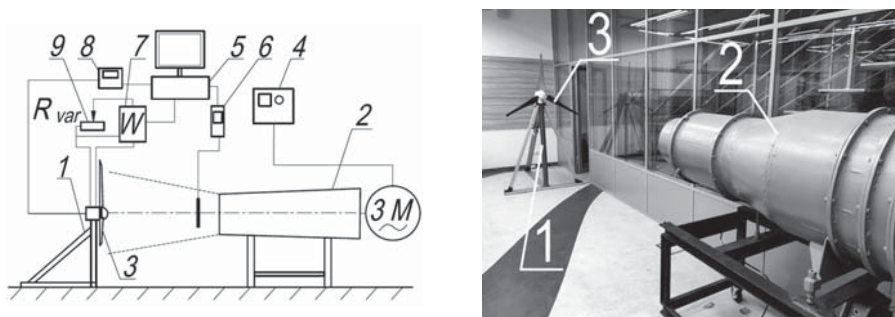
### **Литература**

1. **Чижик Е. И.** Машины для землеройных работ. — Могилев: БРУ, 2005. — 250 с.
2. **Гидравлика, гидромашин и гидроприводы:** Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. — М.: «Издательский дом Альянс», 2010. — 423 с.

*Р. Е. Ушаков, Д. В. Беспалов, студенты;  
рук. А. А. Мочалов, ст. преп. (МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЛОПАСТЕЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ВЭУ

В настоящее время использование ВЭС малой мощности получает все большее распространение, что способствует увеличению необходимости проектирования ВЭУ под определенные условия их использования [1]. Предлагаемый экспериментальный стенд позволяет реализовать физическое моделирование аэродинамических нагрузок в широком диапазоне, для испытания созданных лопастей.



**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментального стенда (слева);  
фотография стенда (справа)

На рисунке 1 (слева) представлена схема экспериментального стенда, на которой 1 — рама с ВЭУ, 2 — аэродинамическая труба, 3 — испытуемые лопасти, 4 — частотный преобразователь, 5 — ПК для сбора данных, 6 — термоанемометр, 7 — ваттметр, 8 — датчик вибраций и скорости вращения, 9 — нагрузка. Описанная конфигурация позволяет производить замеры следующих величин: распределение и пульсации скорости набегающего потока; частота вращения ротора ВЭУ; мощность, вырабатываемая генератором. В процессе создания стенда авторами подобраны и оценены условия эксперимента: рабочая среда — воздух, температура рабочего тела  $T = 293 \text{ K}$ ; была предусмотрена возможность изменения нагрузки на генератор в качестве имитации потребления. Данные параметры соответствуют режиму работы большинства малогабаритных ВЭУ. Тестовые пуски экспериментального стенда с опытными образцами лопастей показали его работоспособность во всем диапазоне механических нагрузок.

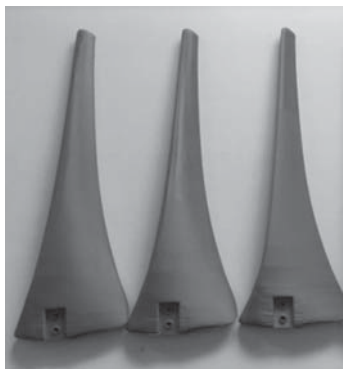
### Литература

1. П. П. Безруких, П. П. Безруких (мл.), С. В. Грибков. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание. М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с.

*Р. Е. Ушаков, Д. В. Беспалов, студенты;  
рук. А. А. Мочалов, ст. преп. (МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва)*

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ЛОПАСТЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На примере малоразмерных ВЭУ была проведена оценка применимости 3-D печати при изготовлении лопастей ветроустановок. В качестве объекта изучения были выбраны лопасти малоразмерной ВЭУ Lucas Nuelle Small Scale Wind Turbine 370 W. Методами фотограмметрии был получен цифровой двойник исследуемых лопастей, после чего на 3-D принтере Picaso Designer XL из полилактида (PLA) были изготовлены 3 опытных образца (рис. 1 слева). В качестве первичной оценки эксплуатационного потенциала, оснащенное опытными образцами лопаток ветроколесо подвергалось стендовым лабораторным испытаниям на основе аэродинамической трубы, позволяющей имитировать «сильные» шестибалльные ветровые нагрузки по шкале Бофорта (скорость ветра порядка 12–13 м/с) [1]. Ни один из образцов не подвергся деформациям.



**Рис. 1.** Фотография опытных образцов (слева); фотография испытаний лопастей на ВЭС ЭЗ-370 (справа)

Для дальнейшей оценки опытные образцы устанавливались на учебной малоразмерной ВЭС ЭЗ-370. Наблюдения за образцами проводились в течении 2 месяцев (16.09.2020–19.11.2020) при различных погодных условиях. В ходе наблюдений ВЭУ неоднократно выходила на номинальный режим работы. Образцы не подверглись разрушению, что свидетельствует о возможности кратковременного использования напечатанных лопастей. Ведутся дальнейшие испытания в зимних погодных условиях.

### **Литература**

1. **П. П. Безруких, П. П. Безруких (мл.), С. В. Грибков.** Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание. М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с.

А. А. Рожко, асп.; А. В. Саенко, к.т.н., доц.;  
рук. В. В. Петров, д.т.н., проф. (ИТА ЮФУ, Таганрог)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТНОГО СЛОЯ $\text{TiO}_2$ В ПЕРОВСКИТНОМ СОЛНЕЧНОМ ЭЛЕМЕНТЕ

В последнее время рост эффективности солнечных элементов на основе перовскитов значительно замедлился. В связи с этим необходим новый подход к повышению их эффективности. Одним из таких подходов является оптимизация электронного транспортного слоя в структуре перовскитного солнечного элемента.

Данная работа посвящена моделированию бесвинцовых перовскитных солнечных элементов со структурой  $\text{spiro-OMeTAD}/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{TiO}_2$  в программе SCAPS (Solar Cell Capacity Simulator [1]) с целью оптимизации электронного транспортного слоя на основе  $\text{TiO}_2$ .

Структура моделируемого в программе SCAPS перовскитного солнечного элемента представлена на рисунке 1.

Толщина слоя  $\text{TiO}_2$  варьировалась от 10 нм до 50 нм. В результате проведенного исследования было установлено, что уменьшение толщины слоя  $\text{TiO}_2$  до 10 нм приводит к повышению эффективности солнечного элемента на 1%.



**Рис. 1.** Структура моделируемого перовскитного солнечного элемента: HTM —  $\text{spiro-OMeTAD}$ , Perovskite —  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ , ETL —  $\text{TiO}_2$ , TCO — токопроводящий слой

### Литература

1. А. А. Рожко, В. В. Петров, А. В. Саенко. Моделирование характеристик солнечного элемента на основе перовскита с помощью программного обеспечения SCAPS. Материалы II Международной научно-практической конференции «Альтернативная и интеллектуальная энергетика» Воронеж: ФГБОУ ВО, 16–18 сентября 2020 г. С. 129–130.



*Н. П. Семенова, студ.;*  
*рук. А. К. Лямасов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

Автономная система дозирования пенообразователя на базе лопастной гидротурбины устанавливается на водяной магистрали основного пожарного насоса. При прохождении потока воды через лопастную турбину осуществляется вращение ротора. Известно, что лопастные турбины имеют нелинейную характеристику, а значит при изменении напора (разницы давлений на входе и выходе) будет меняться частота вращения выходного вала. При пожаротушении смена режима может быть вызвана изменением высоты точки тушения или увеличением расхода за счет изменения частоты вращения двигателя. Нелинейная характеристика турбины обуславливает необходимость регулирования частоты вращения дозирующего насоса для обеспечения требуемой кратности пены на различных режимах, как в случае применения объемного, так и в случае применения лопастного типа.

Регулирование может быть выполнено принципиально различными способами: электрическими, механическими и гидравлическими, а также комбинированными. Наибольшими преимуществами обладает регулируемый гидропривод. При этом возможно рассмотрение как дроссельного так и машинного регулирования, поскольку основное преимущество машинного регулирования — высокий КПД, не является критическим для системы пожаротушения.

Принципиальная гидравлическая схема автономной системы дозирования на базе лопастной гидротурбины с регулируемым гидроприводом представлена на Рис. 1. Вращательное движение передается на регулируемый гидравлический привод, входящий в состав конструкции изделия. Гидромотор привода передает энергию на лопастной насос. Насос осуществляет забор пенообразователя из емкости.

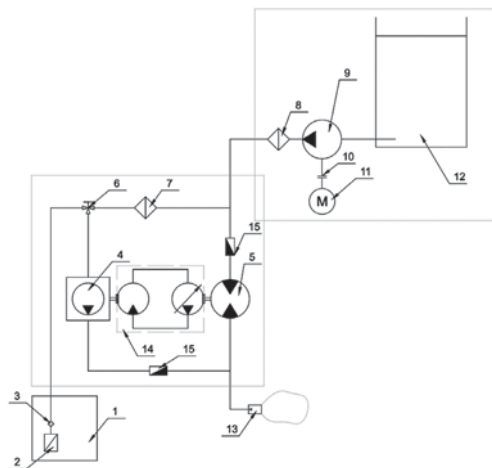


Рис. 1. Принципиальная схема

*М. А. Бирюлин, студ.; рук. А. К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВАРИАНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОЙ ТРАЕКТОРИИ ТОННЕЛЯ ПОДЗЕМНОЙ ГАЭС**

Гидроаккумулирующие станции являются объектами энергетики со значительными ограничениями, связанными с выбором места строительства, ввиду требований к наличию верхнего бассейна и перепада высот для формирования нижнего бьефа/бассейна. В связи с этим имеются трудности с реализацией проектов на равнинных территориях, к которым относится основная часть Европейской части России. Однако основные объекты потребления электроэнергии концентрируются вблизи крупных населенных пунктов, удаленное расположение станции сопряжено с дополнительными затратами в строительстве и передачи электроэнергии.

Решением может являться размещение как нижнего, так и верхнего бассейна под землей с использованием отработанного способа формирования гидротехнических сооружений, обеспечивающего высокую надежность и сроки строительства.

В связи с этим предлагается подземная ГАЭС тоннельного типа с использованием щитового способа проходки, применяемого в метростроении. Верхний и нижний бассейн располагаются в едином протяжённом тоннеле специальной траектории, обеспечивающей необходимые геодезические и гидротехнические качества. Монтаж и демонтаж проходческого щита осуществляются в вертикальной шахте, через которую проходят начало, конец и специальная часть тоннеля для размещения гидроагрегатов.

Указанная схема ГАЭС реализуема даже в черте города, позволяет обеспечить ускоренные сроки строительства с капиталовложениями, сопоставимыми с применяемыми компоновками, имеет широкий диапазон по устанавливаемым мощностям за счет возможности изменения диаметра, длины и заглубления тоннеля, имеет незамерзающий бассейн за счет тепловой энергии земли.

В качестве возможной альтернативы можно рассматривать метод комбинированной проходки. На первом этапе механизированным способом создают пилотную выработку с помощью открытого механизированного комплекса (грипперная ТПМК), а на втором этапе ведут доработку до проектного контура буровзрывным способом в прочных скальных породах [1].

### **Литература**

1. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37514901>, патент RU2490393C1. ГАЭС с подземным расположением бассейна и комбинированным методом проходки.

*М. А. Никитин, студ.; рук. А. К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНОЛОГИИ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

Применение технологий прототипирования для центробежных насосов с использованием 3D-принтеров экономически выгодно. Они позволяют ускорить процесс разработки новых деталей, снизить количество затрат на получение прототипа, уменьшить риски возникновения ошибок при проектировании за счёт изготовления макета. В этих случаях используется печать полимерными материалами, например, ABS или PLA пластиками.

Ещё одним направлением развития аддитивных технологий в гидромашиностроении стало их использование при создании оснастки для литья по выплавляемым моделям. При этом используют как пластики, так и специальные принтеры, печатающие воском или схожими по физическим свойствам материалами.

Для изготовления готовых изделий в настоящее время используют дорогостоящее оборудование, способное проводить печать (послойное лазерное спекание) мелкодисперсными металлическими порошками.

Все рассмотренные направления объединяет возможность получения сложных поверхностей с высокой размерной точностью, что характерно для проточной части центробежных насосов. При этом анализ проведенных работ в области мероприятий по оптимизации конструкции насосов с использованием 3D печати показывает имеющиеся возможности в сокращении массы и габаритов, увеличения КПД и других показателей качества готового изделия.

Рассматривается возможность применения аддитивных технологий на основе пластиков для формирования готовых деталей и узлов центробежных насосов. В качестве примера рассматривается герметичный моноблочный насос с магнитной муфтой, особенностью которого является отсутствие уплотнения и опорного узла, в связи с чем можно минимизировать количество деталей, которые невозможно изготовить с помощью 3D печати.

Технология печати ABS или PLA пластиком предполагает построение детали послойно. Каждый новый слой накладывается на предыдущий. Такой принцип обеспечивает определённый уровень точности модели. Как правило, при этом, поверхность модели является чистой, однако следует провести анализ влияния направления печати, поскольку формирование слоев в направлении, перпендикулярном линиям тока, может вызывать повышенное гидравлическое сопротивление.

Конструкция насоса должна быть оптимизирована также за счёт объединения деталей, усложнения их формы, но должна учитывать ограниченные возможности в механической обработке.

*К. Е. Денисов, студ.; рук. А. К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СХЕМ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГАЭС**

Перспектива строительства гидроаккумулирующей электростанции ГАЭС напрямую связана с её рентабельностью. Так как возведение такой станции требует больших денежных и временных затрат, то необходимо предварительно проводить тщательный технико-экономический анализ на этапе проектирования станции.

При экономическом анализе учитываются капиталовложения, которые зависят от стоимости закупки силового оборудования и его вспомогательных систем. От количества и размеров оборудования зависит размер машинного зала, что, например, является очень важным фактором при строительстве подземных ГАЭС. Учитываются и многие другие характеристики гидравлического оборудования, которые косвенно или напрямую влияют на величину постоянных или разовых затрат в течение всего времени эксплуатации. Поэтому грамотный подбор силового оборудования способствует быстрой окупаемости электростанции и дальнейшее получение наибольшей выгоды от неё.

Силовое оборудование, применяемое на станциях, подразделяется на гидравлическое и электрическое. Гидравлическое оборудование включает в себя турбины и насосы. Турбины могут быть любые: активные и реактивные. Насосы используются центробежные с одной или несколькими ступенями. Существуют также обратимые гидротурбины, способные работать как в качестве турбины, так и в качестве насоса.

Под электрическим оборудованием подразумеваются электрогенераторы и электродвигатели, которые работают в паре соответственно с насосами и турбинами.

На сегодняшний день существуют станции, которые в совокупности используют три схемы силового оборудования:

1. Четырёхмашинная схема — электродвигатель в паре с насосом являются одним отдельным агрегатом, а электрогенератор в паре с турбиной — другим.
2. Трёхмашинная схема — на одном валу с реверсивной электромашинной находятся и насос, и турбина.
3. Двухмашинная схема — двигатель-генератор работает совместно с насос-турбиной.

*В. В. Журавлева, студент;  
рук. А. К. Лямасов, к. т. н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЫСОКОНАПОРНЫХ НАСОСОВ С ГИДРОПРИВОДОМ

Известно, что одним из способов создания компактных высоконапорных центробежных насосов является повышение расчетной частоты вращения. При этом ухудшаются антикавитационные качества, которые, однако, можно улучшить за счет применения специальных конструктивных элементов, как шнек. На этом построен тип насосов ОН6 стандарта АР1.

Одновременно можно констатировать, что насос для подачи пенообразователя в автономных системах дозирования укладывается в данную парадигму — должен обладать минимальными размерами, для возможности использования на мобильных объектах и обеспечивать высокие напоры. При этом наиболее распространенным видом привода в таких установках является гидропривод. Это обусловлено наличием действующих маслосистем на автоцистернах и пеноподъемниках, а также высокой надежностью в плане вероятности отказа при условиях повышенной влажности.

В случае проектирования автономной системы дозирования для гидропривода в качестве эффективного теплообменника-бака может быть рассмотрена полость корпуса приводной турбины.

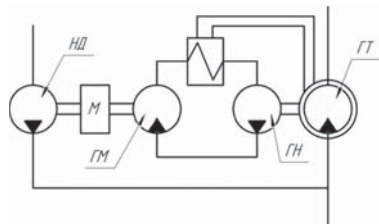


Рис. 1. Схема конструкции

струкцией с точки зрения обеспечения надежности конструкции и ее высокой эффективности при обеспечении требуемого напора. Однако следует избегать внешнего переводного канала из-за увеличения габаритов.

Анализ серийных гидромоторов показывает, что максимальной частоты вращения не всегда достаточно для конструирования высоконапорного насоса. В связи с этим предлагается рассмотреть повышающую механическую передачу, встроенную в насос, аналогично типу ОН6. (Рисунок 1)

В ходе проведенного анализа было выявлено, что использование насоса типа ЦН с зеркально установленными рабочими колесами является самой эффективной кон-

*Д. А. Юрьев, бакалавр; рук. А. К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ PTS ШАБЛОНОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОМАШИН**

Использование современных средств проектирования гидромашин не ограничивается базовыми навыками твердотельного моделирования, но и предполагает собой разработку шаблонов повторного использования, которые позволяют создавать типовые элементы геометрии детали или узла и сокращать время проектирования.

Шаблоны представляют собой набор команд системы, выполняющих определенные действия над задаваемыми входными данными [1].

Инструментом для разработки шаблонов повторного использования является приложение PTS (Product Template Studio) системы автоматического проектирования Siemens NX. Приложение PTS позволяет создавать шаблоны деталей и сборок на базе существующих параметрических моделей, т. е. моделей, созданных с использованием параметров элементов этой модели, и соотношений этих параметров.

Для создания шаблона типового узла гидромашин требуется только законченная параметризованная модель детали или сборки и понимание того, как эта модель должна вести себя при изменении тех или иных параметров. При создании шаблона PTS узла гидромашин нужно заранее определить область его применения и убедиться, что дерево построения детали отрабатывает заложенную в него логику.

Из дерева построения пользователь выбирает управляющие параметры — числовые переменные операции, ссылочную геометрию, эскизы. Каждому выбранному параметру система ставит в соответствие элемент диалогового интерфейса [1]. Пользователь задает атрибуты элементам диалогового интерфейса, определяющие их поведение, а также задает ограничения числовым переменным. Заранее пользователь должен установить зависимость входных энергетических параметров от геометрических.

В итоге шаблон PTS узла гидромашин будет представлять собой интерактивное поле, где пользователь может ввести начальные управляющие геометрические, а также энергетические параметры узла (подшипниковый узел, узел уплотнения, вал и др.), и получить перестроенную относительно базовой готовую модель, удовлетворяющую введенным данным и не имеющую принципиальных ошибок.

### **Литература**

1. **Данилов Ю., Артамонов И.** Практическое использование NX — М.: ДМК Пресс, 2011. — 322 с.: ил.

*А. Ф. Нарынбаев, асп.; рук. А. Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ**

Прерывистый и труднопредсказуемый характер выработки энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) при их интеграции в электрическую сеть усложняет ее управление, стабильное функционирование и обеспечение непрерывности баланса производства и потребления электроэнергии. Тенденция увеличения доли ВИЭ-генерации и, в частности, солнечных фотоэлектрических станций, актуализирует проблему прогнозирования выработки электроэнергии энергоустановками данного типа.

В исследовании рассмотрена классификация методов решения задачи прогнозирования солнечной радиации, впервые для климатических условий г. Новочебоксарск разработаны математические модели прогнозирования солнечной радиации на основе метода искусственных нейронных сетей (ИНС). Входными данными для ИНС-моделей с архитектурой многослойного перцептрона были выбраны значения угла падения солнечной радиации, облачность, температура воздуха, атмосферное давление и относительная влажность. Предложен способ интерпретации предсказаний моделей, оценка важности входных параметров по значениям вектора Шепли и с применением алгоритма Permutation Importance. Показан пример использования построенных моделей для прогнозирования солнечной радиации на сутки вперед для г. Новочебоксарск по данным прогноза погоды с ресурсов «Расписание Погоды» [1] и «Clear Outside» [2]. Наилучший показатель среднеквадратичной ошибки предсказания на тестовой выборке составил 19,6%. В дальнейших исследованиях в целях повышения точности прогнозирования планируется усовершенствование построенных моделей и разработка гибридных подходов.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка программных средств принятия решений по управлению работой солнечно-дизельного комплекса с учётом краткосрочного прогноза прихода солнечного излучения» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и IT» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020–2022 гг.».

### **Литература**

1. «**Расписание погоды**»: метеорологический сайт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://rp5.ru>.
2. «**Clear Outside**»: метеорологический сайт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://clearoutside.com>.

*М. А. Славолюбов, студ.;*  
*рук. Б. М. Орахелашвили, к. т. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ**

До 80% производства электроэнергии приходится на долю ТЭС и АЭС. Одним из важных устройств, обеспечивающих работоспособность станций, являются питательные насосы, подающие воду под требуемым давлением в подогреватель высокого давления (ПВД) и парогенератор. Для привода насосов может использоваться электродвигатель или конденсационная турбина.

При переменной нагрузке турбины необходимо регулировать подачу питательной воды в парогенератор. Это можно обеспечить либо за счет задвижки на напорном трубопроводе, либо за счет изменения частоты вращения привода. Второй метод более экономичен, но требует дорогостоящего дополнительного оборудования. При параллельной работе нескольких насосов, один из которых является регулируемым, требуется решить проблемы согласованности напорных характеристик и допустимой глубины регулирования частоты вращения [1].

Для обеспечения нормальной эксплуатации насосы должны иметь близкие значения напоров в рабочем диапазоне расходов. Необходимо также учитывать регулировочные возможности частотно-регулируемого привода и гарантировать, что напор регулируемого насоса превышает статический напор гидросистемы подачи воды.

Предварительный анализ показал, что при снижении частоты вращения регулируемого насоса для уменьшения подачи, расходы нерегулируемых насосов несколько возрастают, что может привести к возникновению в них кавитационных явлений. Кроме того, регулируемый насос снижает подачу более существенно, чем планировалось, и может попасть в зону весьма низких КПД.

### **Литература**

1. **Малюшенко В. В., Михайлов А. К.** «Энергетические насосы. Справочное пособие». — М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 1981, 200 стр.



*Е. В. Николаева, студ.;*  
*рук. Н. В. Алиходжина, инженер (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ПРИХОДА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Одной из основных проблем во внедрении солнечных электростанций (СЭС) в общую энергосистему, является непредсказуемость выработки энергии первыми, приводящей к трудностям в планировании режима электрической сети. В связи с чем в энергосистемах, в которых доля электрической энергии, вырабатываемой солнечными электростанциями сопоставима с суммарной энергией, вырабатываемой традиционными источниками, возникают сложности в поддержании постоянной частоты. Выполнение этой задачи затруднено сильной зависимостью СЭС от погодных условий. В частности, изменчивостью солнечной активности, которая в основном вызывается изменениями облачного покрова.

Основной задачей данной работы является определение и краткосрочное предсказание значения прихода солнечной радиации на основе фотоснимков неба. Это выполнено путем сегментации покрова облаков, определения их движения для прогнозирования их положения в следующий момент времени, что позволит традиционным электростанциям адаптироваться под выработку электроэнергии СЭС.

В ходе работы были собраны необходимые данные, написан программный код на языке Python, выполнено сравнение статистических методов предсказания и метода, приведенного в работе. Положительный результат предсказания может помочь внедрению СЭС в изолированные микро-энергосистемы за счет более надежного планирования режима сети. Помимо этого, положительный результат может считаться за частичную замену пиранометров. Существует большое количество статей на данную тему, что показывает её актуальность. Так, например, в [1] авторы показывают эффективность предсказания выработки энергии СЭС путем сегментации облаков. Однако новизна настоящей работы состоит в использовании SOTA (state-of-the-art) моделей машинного обучения.

### **Литература**

1. Шмидт Т., Калищ Д., Эльке Л., Хайнеманн Д. Оценка пространственно-временных характеристик анализа и прогнозов солнечной освещенности на основе изображений неба // *Atmospheric Chemistry and Physics*.16. 3399–341. 2016

*Н. С. Керме, студ.; рук. Г. М. Моргунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

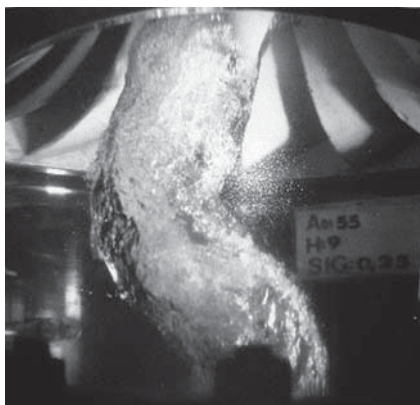
## **РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЫСТРОХОДНЫХ РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В диапазоне напоров 10–150 м широко применяются гидротурбины двойного регулирования с поворотными лопатками направляющего аппарата и поворотными лопастями рабочего колеса. Данные турбины могут быть осевыми (Каплан, 1912–1916 г.) и диагональными (Квятковский, 1950 г., Дерiaz 1952 г.). Рабочая область эксплуатации данных турбин оказывается существенно расширенной по сравнению с жестколопастными турбинами, в частности, из-за срыва мощности для радиально-осевых турбин (Френсис 1848 г.). Они так же характеризуются достаточно высоким уровнем КПД во всей рабочей области использования. Однако к недостаткам таких гидромашин относится более низкие, чем у радиально-осевых турбин антикавитационные показатели, в основном из-за вынужденного заужения площади втекания потока в отсасывающую трубу, и несколько меньший максимальный КПД на оптимальном режиме работы. Механизм поворота лопастей, размещаемый во втулке рабочего колеса сложен в изготовлении и ограничен радиальными размерами. В докладе предлагается принципиально новая конструкция быстроходной радиально-осевой гидротурбины двойного регулирования в диапазоне напоров 40–150 м, которое во многом сочетает в себе положительные свойства, как поворотнлопастной, так и жестколопастной радиально-осевой турбины, причем прогнозно в значительной мере снижает присущие выше указанными гидромашинам недостатки. Предлагаемое решение направленно на повышение среднеэксплуатационного КПД, виброакустических показателей и диапазона рабочих режимов функционирования при сохранении высоких антикавитационных качеств в отмеченном интервале применения по напору. Дополнительные затраты, связанные с усложнением конструкции, компенсируется перечисленными преимуществами перед радиально-осевыми турбинами традиционного исполнения. В докладе на концептуальном уровне излагается принцип работы и возможные варианты конструктивного исполнения новой гидротурбины. Приводятся также начальные результаты исследований уже на этапе структурно-параметрического уровня для радиально-осевой гидротурбины двойного регулирования с номинальным напором 75 м и мощностью 48 МВт. В процессе дальнейших разработок данная проектная задача будет расширена для ГЭС на более низкие и высокие напоры. Предварительные исследования подтверждают перспективность обсуждаемого решения.

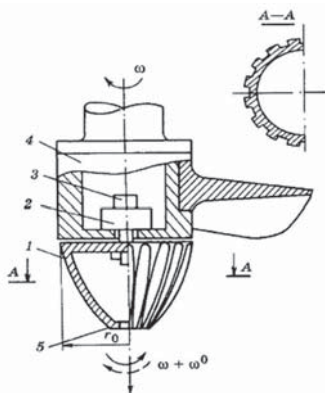
*Н. А. Дробницкий, студ.;*  
*рук. Г. М. Моргунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ВРАЩАЕМОГО ОБТЕКАТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ КРУПНЫХ ГИДРОТУРБИН**

Анализируются причины возникновения макромасштабных пульсаций давления в проточных частях гидротурбин и приёмы снижения их следствий. На рисунке 1 показана некоторая форма вихревого жгута, образующегося за радиально осевой турбиной. Рассматривается новый эффективный способ практического устранения флуктуаций потока в отводах гидротурбин путём введения обтекателя, вращаемого относительно собственно рабочего колеса, схема которого представлена на рисунке 2. В докладе приводится и обосновывается качественно и в значительной мере количественно физико-математическая модель стабилизирующего действия данного устройства. Эта модель основана на рассмотрении баланса моментов количества движения в пределах нестационарного трехмерного пограничного слоя на вращаемом обтекателе, т.е. оконечной части ротора гидротурбины.



**Рис. 1.** Вихревой жгут за рабочим колесом гидротурбины



**Рис. 2.** Гидротурбина с вращающим обтекателем., позиция 1

*А. А. Чепига, Е. Е. Корытченкова, студ.;*  
*рук. А. С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ОРИЕНТАЦИИ АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ**

С ростом спроса на возобновляемые источники энергии увеличивается и их эффективность. Так, появление новых полупроводниковых элементов и наноматериалов позволило повысить КПД солнечной батареи до 40%. Однако себестоимость таких модулей все еще достаточно высокая и не позволяет полноценно вывести данный продукт на рынок [1]. По этой причине для увеличения производительности солнечной станции применяют пространственную ориентацию.

Зачастую для контроля положения солнечной панели применяют датчик освещенности, позволяющий ориентировать поверхность модуля на максимальный поток солнечного излучения, который в ряде случаев не совпадает с положением Солнца на небосводе. Такой подход позволяет наиболее эффективно использовать солнечную энергию, однако приводит к удорожанию всей системы, так как датчик с высокой точностью может стоить как весь поворотный механизм.

В таких случаях предлагают применять бездатчиковую ориентацию на основе заданного алгоритма поворота фотоэлектрических установок в течение дня. Однако данные системы не обеспечивают ориентирование плоскости модуля на максимальный поток солнечного излучения, что приводит к потере вырабатываемой мощности по сравнению с датчиковыми системами. В пасмурные дни работа по заданному алгоритму приводит к необоснованной работе двигателя, а, следовательно, и его энергопотреблению.

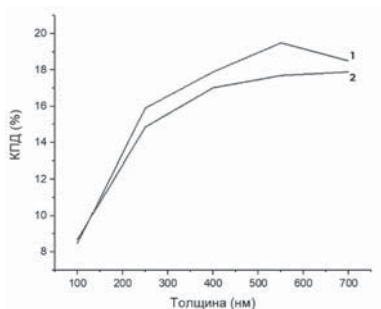
В данной работе предлагается оптимизация работы бездатчиковой системы при помощи разработанной прогнозирующей модели, с помощью которой будет учитываться предсказание поведения автономной фотоэлектрической установки на различные типы входных воздействий (температура, облачность и т.д.). Разработанный регулятор полагается на линейную математическую модель процесса солнечной инсоляции для того, чтобы предсказать дальнейшее его поведение, основываясь на предыдущих значениях переменных состояния. Данный алгоритм позволил увеличить выработку мощности по сравнению с ранее известными методами, представленными в литературе.

### **Литература**

1. **M. Farsi and J. Liu**, “Nonlinear Optimal Feedback Control and Stability Analysis of Solar Photovoltaic Systems,” in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 28, no. 6, pp. 2104–2119, Nov. 2020, doi: 10.1109/TCST.2019.2929149.

А. А. Рожко, асп.; А. В. Саенко, к.т.н., доц.;  
рук. В. В. Петров, д.т.н., проф. (ИТА ЮФУ, Таганрог)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ БЕССВИНЦОВОГО ПЕРОВСКИТА



**Рис. 1.** Зависимость КПД от толщины фоточувствительного слоя  
1 — перовскит с примесью свинца  
2 — с примесью олова

исследования было установлено, что использование примеси олова снижает эффективность незначительно.

Данная работа посвящена замещению токсичного свинца на нетоксичное олово в перовскитном солнечном элементе со структурой  $\text{spiro-OMeTAD}/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{TiO}_2$ , а также влияние его на эффективность в целом.

Графики были получены в ходе моделирования в программе SCAPS [1]. Толщина фоточувствительного слоя варьировалась от 100 до 700 нм. Зависимость эффективности от толщины фоточувствительного слоя представлена на рисунке 1.

Основной задачей было сделать структуру солнечного элемента с менее токсичной структурой. В результате проведенного

### Литература

1. **University of Gent, Dept. Electronics and Information Systems (ELIS)** [Электронный ресурс], 2014. URL: <http://scaps.elis.ugent.be/> (Дата обращения: 22.11.2020)

*К. Т. Ибраева, аспирант;  
рук. Р. Б. Табакаев, к.т.н., научный сотрудник (ТПУ, г. Томск)*

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БИОМАССЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

На фоне дефицита традиционных видов топлива и ухудшения климатического состояния планеты, развитие возобновляемых источников энергии является актуальным для обеспечения энергетической безопасности в мире. В последние годы во многих странах используются ресурсы биомассы для устойчивого производства тепловой и электрической энергии с выгодой сокращения выбросов парниковых газов и обеспечения энергоснабжения. Связано это с рядом преимуществ биомассы: возобновляемость, распространенность, независимость выработки от климатических и временных факторов (по сравнению, например, с солнечной и ветровой энергетикой) [1]. Кроме того, использование биомассы на энергетические нужды позволяет эффективным способом утилизировать накопления неиспользуемой биомассы в виде отходов, которые образуют свалки и отвалы, занимающие большие площади.

Однако необходимо отметить, что при сжигании некоторых видов биомассы наблюдаются эксплуатационные проблемы [2]. Например, небольшое содержание минеральной части в биомассе приводит к шлакованию поверхностей нагрева. В некоторых случаях наблюдаются загрязнения, образующиеся за счет плавления и спекания проблемных элементов в топливе. В связи с этим требуется подробное изучение характеристик органической и минеральной частей биомассы для ее эффективного энергетического использования.

В работе исследованы отходы зернопереработки (пшеничные отруби) с одного из наиболее крупных мукомольных предприятий Сибирского региона. Рентгенофлуоресцентный анализ отрубей показал, что наибольшее содержание среди элементов зафиксировано у натрия, магния, калия. Согласно результатам плавкостных характеристик зольный остаток отрубей относится к легкоплавкому типу ( $t_A=780^\circ\text{C}$ ), что приведет к образованию отложений при сжигании. Сопоставляя анализы, можно предположить, что легкоплавкость зольного остатка пшеничных отрубей связана с наличием низкотемпературных плавящихся соединений в минеральной части.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90148.*

### **Литература**

1. **Balat M., Ayar G.** Biomass energy in the world, use of biomass and potential trends // Energy Sources. 2005. V. 27, P. 931–940
2. **Khan A. A., W de Jong., Jansens P.J., Spliethoff H.** Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies // Fuel Processing Technology. 2009. V. 90, P. 21–50.

**Направление XIII**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЙ**  
**И МЕДИА- ДИЗАЙН**  
**Industrial and media design**

---

**Руководитель направления:**  
доцент Родин Алексей Борисович —  
директор гуманитарно-прикладного  
института НИУ «МЭИ»

**Секция 62**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА- ДИЗАЙН**  
**Industrial and media design**

---

*Председатель секции:*

*к.ф.н., доцент Панкратова Александра Владимировна*

*Секретарь секции: Чახеева Екатерина Ивановна*



*Е. Д. Овсиенко, студ.;  
рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОГО МЕДИАДИЗАЙНА**

XXI век — век технологий и прогресса. Мир находится в постоянном движении и изменяется с головокружительной скоростью. Основным центром современного общества стала информация. И хотя без информации сложно представить само существование современного общества, огромное количество происходящих событий вызывает трудности в их восприятии. Быстрое развитие телевидения, интернета и рост количества различных изданий изменили принцип восприятия информации. Основной областью, которая занимается адаптацией информации к восприятию человека, является медиадизайн.

Основной чертой современного медиадизайна смело можно считать визуализацию. При просмотре журнала или страницы сайта зритель обращает внимание на знакомый знак, приятный глазу цвет, анимацию, оригинальную и/или интересную иллюстрацию, тем самым подключаясь к восприятию подаваемого текста. Научно доказано, что человеческому мозгу намного легче быстро воспринимать информацию в виде картинки с небольшим количеством текста, чем в виде просто длинно напечатанного текста или словесного описания.

Цвет также является важной составляющей медиадизайна. По нашему мнению, сегодня популярны пастельные оттенки. Вне зависимости от того, хочет ли дизайнер выделить конкретный объект, создать атмосферу или провести взгляд зрителя по определённой траектории, будут использоваться мягкие цвета. Достаточно яркие и насыщенные для привлечения внимания, но одновременно не режущие глаз.

Не стоит забывать о таком пункте как простота и графичность изображения. Сейчас царит эпоха минимализма, и дизайнеры всё стараются сделать проще, начиная от плакатов и заканчивая логотипами компаний и разнообразными иконками. По крайней мере, в сравнении с модерном, стилем, доминирующим в начале прошлого века.

В качестве яркого примера современного медиадизайна приведем, например, видеорекламу в вагонах метро. Максимум картинок, небольшая доля текста и, если это нарисованная реклама, то простая, но в то же время очень приятная глазу рисовка. Все эти черты являются чертами современного медиадизайна. Этим пунктам соответствует также сайт известной компании Google.

Итак, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что чертами современного медиадизайна являются визуализация, мягкая цветовая гамма и графичность изображения.

*В. А. Французова, студ.;  
рук. А. В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ)»*

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ МЕДИАДИЗАЙНА**

Практически всегда человек прямо или косвенно использовал технические и научные открытия для художественного самовыражения для донесения информации. Искусство можно назвать одной из жизненных функций общества. На протяжении всей истории человечества мы наблюдаем связь бытового, повседневного, высокого и художественного. Медиадизайн является относительно новой сферой дизайна, а дизайн, в свою очередь, не так давно отделился от искусства. Однако предпосылки зарождения медиадизайна можно проследить во всей истории человечества. Любые попытки передачи информации через средства графики можно так или иначе отнести к графическому и к медиадизайну.

В этом смысле можно сказать, что медиадизайн входит в десятку древнейших профессий мира, так как у человечества всегда существовала необходимость передачи информации разными способами.

Так, в древних рукописях средневековых монастырей мы находим то, что является протомедиадизайном. Причем визуализация информации в средневековых рукописях достигла своей вершины.

Считалось, что независимо от технологий использования золота в иллюминированных заставках древних гримуаров, изображение не должно было вызывать нежелательные эффекты и обязано призывать к определенным эмоциям. Четкие схемы вёрстки текста и намёки на сетку появляются именно тогда.

Далее, важной предпосылкой появления медиадизайна является изобретение печати И. Гутенбергом. Гутенберг пришёл к коммерческому использованию малотиражной печати с одного оригинала.

Филипп Меггс в сочинении «Одна из возможных версий истории графического дизайна» хорошо излагает стадии развития рассматриваемой нами области дизайна.

В двадцатом веке медиадизайн уже затрагивает все сферы общества. Даже у радио после нескольких десятилетий после его появления возникает потребность в визуальном оформлении. Радио активно продвигается в медиасреде и на телевидении (радио CBS в 60-е–70-е, BBS в 80-е).

Медиадизайн также затронул кино, причем даже в его исторических формах. Рисование вывесок на салунах и денег для расчёта внутри салунов, создание рекламных трейлеров, афиш, титров — все это можно отнести к медиадизайну. Сегодня неотъемлемой частью медиадизайна стали телевиденье и интернет.

*В. В. Кириллова, студ.;*  
*рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЦВЕТ В МЕДИАДИЗАЙНЕ**

Медиадизайн — отрасль современного дизайна, занимающаяся контентом, который мы видим в наиболее актуальной среде нашего времени: digital пространстве. Еще недавно медиадизайн был частью графического дизайна, но сегодня, от бумажной типографии и полиграфических изданий дизайн движется в сторону медиа: дизайн преобразовывается на разнообразных площадках и в различных видах ресурсов.

Вслед за социальными тенденциями, востребованными мыслями общества, преобразуется и наша среда. Мода начинает отзеркаливать нынешнюю политику мира. Преобразуется все: от формы до композиции. Дизайн в современном мире является областью, которая наиболее полно выражает настроения общественного сознания и актуальные социальные запросы общества.

Дизайн пользуется огромным количеством средств выражения: композиция, форма, шрифт. Но что всегда являлось самым сильным катализатором передачи актуального настроения времени в дизайне — это цвет.

В нынешней реальности медиадизайна отсутствует условное ограничение в цветовой палитре, но есть особенно востребованные цвета: пастельные, телесные, природные.

Натуральный колорит — это база большинства работ дизайнера в целом на данный момент. В век бурной деятельности и постоянной урбанистической суматохи, людям как никогда необходимо снимать стресс. Актуальная среда для решения данного вопроса — расслабляющая, спокойная. Людям требуется уютная среда после перенесенного стресса. Поэтому такую актуальность приобретают оттенки, не вызывающие у нас бурной реакции и влияния на подсознание, как, например, оранжевый, красный, в особенности их яркие и чистые варианты.

Также цвета природного, мягкого и спокойного тона хорошо комбинируются в тандеме с другими, не особо контрастируя, а напротив, только дополняя общую массу в работе.

Таким образом, природные цвета — наиболее востребованные для людей в нынешней обстановке. Они комфортны, практичны и не вызывают противоречий, что отвечает задачам хорошего дизайнера.

Современный медиадизайн является наиболее полным отражением в дизайне сознания современного человека. Именно поэтому в современном медиапространстве дизайнеры оперируют именно такими цветами — пастельными, приглушенными, цветами со слабой насыщенностью.

*В. А. Стрекозина, студ.;*  
*рук. Е. Н. Тестина-Лапшина, доц. (НИУ МЭИ»)*

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И РАБОТА С ПРОСТРАНСТВОМ В СОВРЕМЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ**

Развитие многофункциональной мебели — это длительный исторический процесс. Многофункциональная мебель — это образцовое сочетание эргономики и стильного дизайна. В отдельных случаях один предмет интерьера может заменить целую композицию.

В случае многофункционального дизайна мебель для дома становится многофункциональным комплексом, включающим в себя мобильность и трансформацию. Например, круглый стол, который может менять свой диаметр. При повороте его столешницы на тридцать градусов стол увеличивается в диаметре в два раза.

В данной статье рассмотрим пример многофункциональной мебели, одной из функций которой является трансформация жизненного пространства. Данный вид мебели — это полка-перегородка или место хранения. Предназначена для разграничения зон как общественных мест, так и частных. Данная конструкция дает возможность хранения вещей, возможность декорирования пространства и, кроме того, функцию разделения комнаты или общественного пространства на зоны.

Актуальность данной модели заключается в вариативности конструкции. Элементы являются съемными и передвижными, что позволяет менять компоновку без привлечения специалистов по установке.

Важной характеристикой данного проекта является экологичность материала. В конструкции используются материалы, пригодные для вторичной переработки.

Также важной характеристикой данного объекта является универсальность. Помимо полок, крепежный каркас может быть использован для подвески или крепления для сторонних устройств.

Рассмотрим конструкцию объекта. Каркас представляет собой рамочную конструкцию. Рамка служит для крепления конструкции к стене, для чего на горизонтальной стороне рамки предусмотрено Х крепление, и по Y вертикальной. Для удобства установки, крепления можно смещать по рамкам перед окончательным закреплением. Для более жесткой установки в углах рамки предусмотрены конструкции для окончательного крепления к стене.

Для прикрепления подвесного оборудования предусмотрен набор реек (перфорированных) для установки по горизонтали. Рейки смещаются по вертикали и фиксируются специальными креплениями.

*Д. А. Филатова, студ.;*  
*рук. А. В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СУПРЕМАТИЗМА К. МАЛЕВИЧА НА СОВРЕМЕННЫЙ МЕДИАДИЗАЙН**

Как известно, супрематизм стал первым абстрактным направлением в искусстве, своему появлению он обязан К. Малевичу. Принципы супрематизма нашли свое воплощение в современном медиадизайне.

Основа супрематизма была заложена на знаменитой выставке «0,10», где К. Малевич представил 39 своих полотен, выполненных в данном направлении, в числе которых был знаменитый «Черный квадрат» — икона супрематизма. Однако предпосылки для нового направления в искусстве можно было заметить в опере «Победа над солнцем», где К. Малевич, разделив квадрат по диагонали, окрасил одну сторону в черный, а другую в белый — тем самым знаменуя победу над солнцем. Лаконизм, выраженный в простых фигурах, и цвет легли в основу супрематизма, однако, не лишённого особой выразительности.

Данные принципы — лаконизм и выразительность, выраженная в простых геометрических формах и цвете, мы можем наблюдать в современном медиадизайне.

В современном мире человек каждый день сталкивается с продуктами медиадизайна: рекламой, сайтами, играми, приложениями — эти и многие другие медиапродукты, нуждаются в соответствующем оформлении, которое не отвлекает и не перегружает потребителя. Супрематизм предоставляет такую возможность. Медиадизайнеры, умело используя одни лишь геометрические фигуры и цвет, способны лаконично, но эффектно преподнести информацию потребителю.

Так, например, идеи супрематизма легли в основу рекламных плакатов эстонского рекламного агентства *Vatson & Vatson*, разработанные в 2015 году для торгового центра *Viru Keskus*. «SUPRESHOPISM No. 37 “Black and Red Bag”» — является лаконичным и выразительным обозначением шоппинга, выраженным через простые формы, красный и черный цвета. Еще один рекламный плакат «SUPRESHOPISM No. 12 “Black Button”» — соответственно обозначает пуговицу. Рекламные плакаты лаконичны и просты, но они отражают всю суть торгового центра, тем самым донося информацию до потребителя.

Таким образом, мы можем прийти к выводу, что активное использование супрематизма в современном медиадизайне обусловлено его лаконичной выразительностью, которая способна донести или подчеркнуть всю суть предоставляемой информации до потребителя.

*Ю. А. Юденкова, студ.;  
рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭСТЕТИКА ВХУТЕМАСА В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ**

Медиадизайн — это относительно новая сфера дизайна в современном мире. Медиадизайн собирает в себе все лучшее, что есть в других сферах дизайна и позволяет нагляднее доносить информацию до потребителя. И раз современный медиадизайн основывается на разнообразном опыте своих предшественников, то он вообрал в себя и учения ВХУТЕМАСа.

В начале XX века, Москве, на основе Строгановского художественно-промышленного училища и Училища живописи ваяния и зодчества были созданы специальные Свободные государственные художественные мастерские (СГХМ), которые в 1920 году были соединены во ВХУТЕМАС — Высшие художественно-технические мастерские. После Октябрьской революции, новый политический настрой проникает во все области жизни человека, в том числе и искусство. Происходило отрицание прошлых канонов и активный поиск новых идеалов.

Эстетика ВХУТЕМАСа заключается в геометричности, локальных цветах и простоте форм. Все эти черты мы можем проследить и в современном медиадизайне. Множество сайтов в сети, созданных в последние годы, показывает нам, что сейчас во главе угла стоят всё те же принципы, позволяющие человеку легче считывать информацию. Например, сайт СберБанка. Он крайне геометричен и понятен. Все цвета либо локальные, либо переходят друг в друга градиентом, что сейчас тоже широко распространено. Знаки, цифры составлены из простых форм. Все это несет в себе наследие школы ВХУТЕМАСа и встречается повсеместно.

Все те же принципы создания мы можем увидеть и в современном дизайне логотипов или рекламы. Они максимально упрощаются по форме и стараются более конкретно донести свою мысль. Иллюстрации к рекламе тоже стремятся к простоте форм. Здесь можно заметить заимствование у некогда популярного творческого объединения «Кукрыниксы». Например, в их серии работ «Окна ТАСС» присутствует всё то же использование локальных цветов, рисунка пятном, простоты форм, цветного контура, к которому в последние годы появился особый интерес. Чаще всего такие работы были выполнены в контрастных, но сочетающихся друг с другом цветах.

Но заимствование идет не напрямую, медиадизайн интерпретирует идеи ВХУТЕМАСа по-своему, подстраивая их под современные реалии мира. И так как сейчас идет мощная волна ностальгии по советской культуре, то многие медиадизайнеры стали все больше уделять внимания эстетике ВХУТЕМАСа и ее последователей.

*В. А. Крючкова, студ.;  
рук. А. В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЛОСКИЙ ДИЗАЙН КАК ОСНОВНОЙ СТИЛЬ МЕДИАДИЗАЙНА**

В настоящее время плоский дизайн является основным стилем медиадизайна.

Прототипами плоского дизайна стали такие направления искусства и дизайна как минимализм, модернизм, баухауз.

Массовую популярность плоский дизайн приобрёл десять лет назад, в 2010 году, когда компания Microsoft выпустила продукцию в плоском стиле. Собственно, с выходом Windows 8 и начинается время плоского дизайна, так как все монстры бизнеса, такие как Apple, выпустившие IOS7 в 2013 году, и Google со своей операционной системой Android, перешли на плоский дизайн.

Концепция плоского дизайна заключается в полном отказе от трёхмерного изображения. Плоский дизайн замечателен своей простотой, также он упрощает работу сайтов и приложений, позволяя им прогружаться быстрее. Кроме того, плоский дизайн упрощает работу дизайнеров, так как изображения в данной стилистике весьма условны и могут быть выполнены даже человеком, не обладающим навыками рисования.

Выделяют четыре основных принципа плоского дизайна:

- Исключаются любые объёмы, тени, визуальная глубина.
- Элементы максимально примитивизируются.
- Шрифты упрощаются и не выступают за пределы общего дизайна.
- Используются лишь несколько цветов без каких-либо переходов.
- Используются цвета слабой насыщенности.

Сегодня плоский дизайн используется повсеместно, особенно в медиа пространстве, начиная от приложений и игр в смартфонах, рекламных роликов в общественном транспорте (метро, трамвай), и заканчивая принтами на одежде. Так, например, российский бренд «Твоё» использует только плоский дизайн в создании своей одежды.

Причина популярности плоского дизайна проста. С одной стороны, он носит декоративный характер, но с другой, благодаря своей лаконичности, плоский дизайн визуально быстрее доносит информацию до пользователя, что сохраняет время считывания информации, не отвлекая на посторонние объекты.

Таким образом, плоский дизайн является основным стилем, использующимся сегодня медиадизайнерами, и еще долго будет сохранять лидирующие позиции в дизайн-среде.

*Т. Д. Павленко, студ.;  
рук. Е. Н. Тестина-Лапшина, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ СТОЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ**

Корни современной трансформируемой мебели лежат в работах студентов ВХУТЕМАСа. Именно во ВХУТЕМАСе получили распространение задания для студентов, связанные с созданием трансформируемой мебели. Именно идея трансформации мебели отвечала самым современным на тот момент представлениям о дизайне, так как такая мебель функциональна, экономична и отвечает запросам потребителя. При этом, задания на создание такой мебели развивают дизайнерское и конструкторское мышление. Опыт ВХУТЕМАСа оказался настолько удачным, что до сих пор в современном дизайне проектировщики возвращаются к созданию трансформируемой мебели снова и снова.

Таким образом, в современной мебели часто используется смена назначения или добавление функций мебели. Часто дополнительные функции добавляют журнальным столикам, так как журнальные столики могут иметь разный внешний вид, быть приземистыми или с длинными ножками. Журнальный столик — это объект мебели современного человека, это дополнительный предмет мебели, отвечающий не первичным потребностям человека (сон, еда), а потребностям, связанным с работой и досугом (поставить ноутбук, положить смартфон, поставить чашку с кофе во время переговоров и т. д.). Идея трансформации особенно важна для такого рода объектов.

Рассмотрим совмещение функций в журнальном столике на примере нашего проекта. Нами был разработан журнальный столик с дополнительной функцией хранения. Столик имеет полочки для журналов в ножках и под столешницей. Журнальный столик имеет ассиметричную форму со скругленными углами, текстура стола деревянная с темными ножками и светлым корпусом. Размеры полочек в ножках и корпусе столика подобраны так, чтобы было удобно хранить и доставать журналы. Столик имеет оптимальные размеры и хорошо впишется в комнату современного человека. В данном проекте происходит совмещение дополнительной функции мебели с экономией пространства.

Таким образом, многофункциональность журнальных столиков удобна тем, что создается дополнительное место для хранения, а также тем, что подобная мебель сохраняет место в пространстве.



*В. К. Баженова, студ.;*  
*рук. А. В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТОЛЫ-ТРАНСФОРМЕРЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ**

Сегодня столы-трансформеры играют особую роль в современном дизайне. Современный темп жизни большинства людей происходит в малогабаритном жилье. Поэтому на маленькой площади приходится использовать минимальное количество мебели. Исходя из потребностей, дизайнеры стали создавать столы, совмещающие в себе несколько функций. Главными критериями столов-трансформеров стали компактность, функциональность, малогабаритность.

В качестве примера рассмотрим стол-трансформер с полками и светильником. Особенностью этого стола является трансформируемость из обычного стола в рабочий. При трансформации из-под стола выходят полки и выезжает и поднимается на каркасе светильник, имитирующий потолочный светодиодный светильник. После трансформации стола пользователь может наклонить или повернуть светильник в нужное место.

Стол-трансформер — не современный предмет мебели. Предпосылки трансформирующейся мебели появились ещё в СССР. Многие критерии и принципы современного дизайна пришли из ВХУТЕМАСа, где преподавали представители производственного искусства — Александр Родченко, Эль Лисицкий, Владимир Татлин и другие. Главными принципами были экономичность материалов и конструкций, рациональность использования пространства, многофункциональность и мобильность изделий. Декорирование категорически отвергалось. Многие из этих принципов стали каноническими для дизайна в современное время. Так, полученные знания трансформировались в проектирование многофункциональных, мобильных предметов. Художественная сторона проявлялась как изобретательная деятельность, направленная на поиски оригинальной, функциональной и технически оправданной конструкции, то есть рационализм. В качестве примеров мы приведём шахматный стол А. Родченко, стол-диван Пылинского, шкаф-стол Б. Земляницына. Основная задача будущих дизайнеров была связана с упрощением существующей вещи, снятием каких либо украшательства, неработающих, следовательно, ненужных вещей. Основная идея была сделать вещь простой, удобной и функциональной, а также применить массовые материалы и внедрить в массовое производство.

Можно сделать вывод, что современный дизайн столов-трансформеров — это продолжение проектирования, которым занимались дизайнеры и конструкторы ВХУТЕМАСА, внося значимый вклад в современные принципы и критерии дизайна.

*Г. А. Кузнецов, студ.;*  
*рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕНДЕНЦИИ МЕДИАДИЗАЙНА**

Такая отрасль проектирования как медиадизайн появилась в XX веке, бурное развитие началось с наступлением информационной эпохи, с этого момента капитализация сферы услуг начала преобладать над индустриальным сектором экономик развитых стран, и России в том числе. Данный процесс также повлиял на становление современного медиадизайна. Но основной процесс, без которого данная отрасль сегодня бы не существовала, — это цифровизация бизнеса и общества в целом. Важную роль сыграло распространение и включение в различные электронные устройства мультимедийности, благодаря чему взаимодействие простых людей с медиадизайном стало не только возможным, но начало выходить на все более новые уровни. Помимо привычных слухового и визуального восприятий, активно эксплуатируется тактильный обмен информацией через портативные мультимедийные устройства. Также немаловажной отраслью, набирающей все большую значимость, являются технологии виртуальной реальности, которые позволяют медиадизайну уже на данный момент охватить практически все чувства человека, взаимодействующего с различными информационными продуктами. Новые разработки и технологии позволяют медиадизайну все больше углубляться в жизнь и быт человечества, это могут быть новые мобильные и бытовые устройства; компьютерные, мобильные, консольные, VR игры; промышленная техника и т. д.

В наше время наиболее значимыми отраслями медиадизайна являются: реклама, как наружная так и внутри устройств; веб-дизайн; компьютерные и мобильные игры; телевидение; разработка интерфейсов различного программного обеспечения; создание видеороликов; звуковое оформление и саунд-дизайн. В целом, данная отрасль дизайна охватывает в современном мире все больше различных областей и сфер экономики и в данный момент без медиадизайна уже не обойтись практически нигде. Особенно если это касается цифрового оборудования, но на данный момент с таким оборудованием связаны все сферы цивилизованного и развитого общества.

Современный медиадизайн позволяет создавать все более новые среды коммуникаций, при этом оставаясь крайне многопрофильной областью, применяя все самые новейшие методы взаимодействия. При этом остаются актуальными и традиционные элементы этой сферы, такие как: телевидение, книги, газеты, журналы, радио, кино, музыкальная запись. Но новейшие разработки и методы все чаще обходят традиционные по капитализации, эффективности и привлечению публики.

**Направление XIV**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**  
**В ВОЕННОМ ДЕЛЕ**  
**Electric power in the military**

---

**Руководитель направления:**

к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович —  
заместитель директора военно-инженерного  
института НИУ «МЭИ»

**Секция 63**  
**РАБОТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ**  
**ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**  
**Power system operation in emergency**  
**situations**

---

*Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович*

*Секретарь секции: Бурова Татьяна Семеновна*

*С. С. Кочнев, к.т.н. (ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ», г. Москва);  
рук. В. И. Ивахненко, к.воен.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НЕГАТИВНЫМ ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В XX-М ВЕКЕ**

Стремительное развитие мировой экономики и рост населения на протяжении XX-го века привели к активному развитию электроэнергетических систем. Мировое производство электрической энергии в течение двадцатого столетия увеличилось практически в 1000 раз от 15 млрд кВт·ч в 1900 году до 14 500 млрд кВт·ч в 1999 году [1]. Кроме того, в военное время, начиная с 1904 года в Порт-Артуре, осуществлялось боевое применение электрической энергии для устройства электризуемых заграждений, отключение которых могло привести к тяжелым последствиям военного характера.

Одновременно с развитием электроэнергетических систем и ростом количества потребителей возросла тяжесть последствий от негативных внешних воздействий на системы, приводящих к авариям и длительному прекращению обеспечения электрической энергией. По характеру негативные внешние воздействия можно классифицировать как: естественные (природные), техногенные и антропогенные [2].

В докладе проанализированы случаи негативного воздействия на электроэнергетические системы в XX-м веке, которые привели к наиболее тяжелым последствиям. Кроме прекращения работы организаций, в том числе социально значимых, которые не имели резервных источников питания, прекращения движения электрического общественного транспорта, питающегося от сети, в результате отключения электрической энергии значительно возросло количество правонарушений, связанных с грабежами, увеличивалось количество дорожно-транспортных происшествий, в связи с чем правоохранительные органы не справлялись с возросшей нагрузкой.

В докладе рассмотрены основные меры по противодействию негативным внешним воздействиям на электроэнергетические системы в XX-м веке, которыми являлись: совершенствование релейной защиты и автоматики, повышение качества проведения мероприятий по обслуживанию, повышение физической защищенности объектов электроэнергетической системы, создание запасов элементов для проведения ремонтных работ и развитие распределенной генерации.

### **Литература**

1. **Денисова Н. В., Гаврилов В. А., Хуснутдинов Р. Р.** История развития электроэнергетики: учебное пособие. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. — 171 с.
2. **Удинцев Д. Н., Хлебнов А. В., Смоголев С. А.** Анализ негативных внешних воздействий на электроэнергетическую систему и некоторые пути адаптации к ним // Заседание секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НТК НП «НТС ЕЭС». 26.11.2020.

**Секция 64**  
**ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ**  
**СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**  
**Power supply for special objects**

---

*Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович*

*Секретарь секции: Силаев Дмитрий Александрович*

*Д. В. Дубинин, студ.; рук-ли: А. А. Горелов преп.;  
В. И. Рубинов, к.т.н., доцент, нач. каф.  
(ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж))*

## **МЕТОД ЛАГРАНЖА ПРИ РАСЧЕТЕ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ СТОИМОСТИ, МАССЫ, ОБЪЕМА РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (СЭС) ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ЗАДАННОЙ НАДЕЖНОСТИ**

Одним из методов обеспечения и повышения надежности системы электро-снабжения (СЭС) воздушного судна (ВС) на этапе его проектирования является введение структурной избыточности. За счет неограниченного увеличения числа резервных элементов можно получить максимально возможную надежность СЭС. Но при этом на практике существуют ограничения по стоимости, массе, объему и т. д., не позволяющие осуществить задачу данным способом.

В работе рассматривается методика решения вышеописанной задачи, суть которой состоит в том, чтобы определить число резервных элементов для каждого основного элемента СЭС ВС при условии, что требуется получить минимально возможную стоимость, массу, объем системы при заданном ограничении по надежности. Данная задача решается на основе метода Лагранжа, в которой исходная структурная схема рассматриваемой СЭС представляет собой последовательное соединение основных элементов. Задаются выражения для определения стоимости и надежности резервированной системы, вводится дополнительный параметр. Записывается функция Лагранжа, и при помощи математических преобразований определяется дополнительный параметр и число резервных элементов для каждого основного элемента, при котором определяется минимально возможная стоимость, масса, объем СЭС ВС при заданной надежности.

Описанный подход решения задачи позволяет выполнить расчет и определить: надежность каждого основного элемента; оптимальное количество резервных элементов для каждого основного элемента; стоимость резервированной системы, которая не должны превышать заданную стоимость всей системы; максимально возможную надежность резервированной системы; соблюдение условия по дополнительному параметру. На основе данного подхода был разработан программный модуль, который позволяет получить исходную структурную схему соединения элементов системы и резервированную структурную схему соединения элементов СЭС ВС.

*А. А. Суханкин, студ.; рук-ли: А. Ю. Платонов, к.т.н., нач. цикла;  
В. И. Рубинов, к.т.н., доцент, нач. каф.  
(ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж))*

## **МЕТОД ЛАГРАНЖА ПРИ РАСЧЕТЕ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (СЭС) ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ЗАДАННОМ ОГРАНИЧЕНИИ ПО СТОИМОСТИ**

На этапе проектирования изделия АТ введение структурной избыточности является одним из методов обеспечения и повышения надежности системы электроснабжения (СЭС) воздушного судна (ВС). Можно получить сколь угодно высокую надежность СЭС путем неограниченного увеличения числа резервных элементов. Однако при резервировании возникает задача не только обеспечить требуемые показатели надежности, но и добиться этого как можно более экономично, т.е. при заданных ограничениях по стоимости, массе, объему и т.д. достичь максимально возможной ее надежности. Поэтому актуальной является задача получения максимально возможной надежности СЭС ВС при заданных ограничениях.

В работе рассматривается решение данной задачи с помощью метода Лагранжа, при этом исходная структурная схема рассматривается как последовательное соединение основных элементов. Записываются выражения для определения надежности резервированной системы СЭС с учетом заданной стоимости. В данных выражениях используется параметр  $\alpha$  от 0 до 1, который высчитывается с помощью метода Лагранжа. Для этого записывается функция Лагранжа и проводится ряд математических преобразований, в результате которых определяется число резервных элементов для каждого основного элемента при котором надежность резервируемой системы при заданном ограничении по стоимости будет максимальной.

Предложенный подход решения данной задачи позволит определить оптимальное количество резервных элементов для каждого основного элемента при заданном ограничении по стоимости и при условии обеспечения максимально возможной надежности, резервированной СЭС. На основе данного подхода был разработан программный модуль, который позволит получить исходную и резервированную структурную схему соединения элементов СЭС ВС.



*А. С. Рачев, студ.; В. П. Бородин курсант;  
рук-ли. Е. А. Шудегов преп.;  
А. В. Гервальд, ктн, преп.; А. Н. Сумцов ст. преп.  
(ФВУНЦ ВВС «ВВА им. Проф. Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина» г. Сызрань)*

## **ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЯ ИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЕРТОЛЁТА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Процесс определения причин и места неисправности или повреждения в электрооборудовании, а также разработка единого плана устранения неисправности, часто занимает значительную часть времени.

Для повышения оперативности выполнения работ удобно пользоваться алгоритмами поиска причин и места неисправности, разработанными для характерных признаков отказов. Основную сложность при создании подобных алгоритмов представляет собой большое количество причин, вызывающих одни и те же признаки отказа или неисправности функционально обособленной системы. В этом плане становится очевидным необходимость применения компьютерного моделирования и исследования работы систем авиационного оборудования для оперативной и эффективной разработки алгоритмов поиска и устранения неисправностей.

На первом этапе создается интерактивная модель исследуемой системы. Достоверность модели обеспечивается тем, что ее схема и номинальные параметры, входящих в нее элементов, совпадают с реальной схемой системы.

Вторым этапом является процесс сопоставления смоделированных признаков и причин отказа с проявлениями отказа, возникшими на реальной технике. Это позволяет быстро локализовать место отказа и определить методику его устранения.

Третьим этапом является разработка алгоритма поиска и устранения неисправности по результатам исследования поведения системы на виртуальной модели. Разработанный алгоритм представляется в виде блок-схемы, имеющей стандартный вид для технической документации. Модели систем реализовываются при помощи программных продуктов (компьютерных программ).

Предложенный метод позволяет эффективнее рассматривать процессы, происходящие в системе при возникновении неисправностей, вырабатывать и применять процедуры контроля исправности электрооборудования, повысив оперативность технического обслуживания.

*А. Ш. Аймолетдинов, студ.; В. Р. Сизых курсант;  
рук-ли Д. А. Силаев ст. преп.;  
А. В. Гервальд, к.т.н., преп.  
(ФВУНЦ ВВС «ВВА им. Проф. Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина» г. Сызрань)*

## **ОПТИМАЛЬНЫЕ МАРШРУТЫ ДОСТАВКИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ И АГРЕГАТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Эффективное решение задач обслуживания электрооборудования воздушных судов, возможно реализовать путём организации своевременных поставок необходимых запасных частей и агрегатов для модульной их замены в условиях повседневной эксплуатации.

Одной из важнейших задач является задача расчёта оптимальных маршрутов доставки истребованных изделий для восстановления исправности электрооборудования. Критерий оптимальности определяется в зависимости от срочности заданий. Для «срочных» заявок маршруты строятся, исходя из требования минимума времени перевозки, а для «несрочных» заявок приоритетом является минимизация стоимости осуществления перевозок.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы теории графов. Т.к. задача характеризуется определением маршрутов доставки из множества отправных точек графа, то наиболее приемлемым методом является метод, называемый алгоритмом Флойда. Он является способом поиска кратчайших путей между всеми вершинами графа, и основывается на использовании последовательности из  $n$  преобразований (итераций) начальной матрицы весов.

Применение данного алгоритма, поможет найти оптимальные по стоимости и по времени маршруты поставок необходимых запасных частей, повысит оперативность восстановления исправности электрооборудования воздушных судов.

**Секция 65**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**  
**СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**  
**Electromechanical systems for special objects**

---

*Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович*

*Секретарь секции: Бурова Татьяна Семеновна*

*Е. А. Мохорт, студ.; рук-ль Д. А. Силаев, ст. преп.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА, УСТАНОВЛЕННОГО НА СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И КПД СИСТЕМЫ**

Задача увеличения энергоэффективности является одной из основных в области электрического привода.

Проведенный анализ показал, что среди отечественных технологий в большинстве случаев избыточную энергию рассеивают в виде тепла, что является формальным выбросом полезной энергии в окружающую среду. Так же, в большинстве систем не применяются методы защиты от обрывов питания, они игнорируются путем полного резервирования источников ЭЭ, что может привести к потери такого ресурса, как время, которое будет уходить на подключение резервных источников питания. В рассматриваемой статье предлагается дополнить систему электроприводов подъемных механизмов устройством для генерации ЭЭ, при этом использовать совокупность наилучших доступных технологий, разработанных в данной области, в формате импортозамещения. Установить систему рекуперации, как на режимы передвижения в определенных условиях, так и на режимы торможения. Основные крупные специальные объекты были построены более 10–15 лет назад, в то время ещё не могли применять энергоэффективные технологии в области электрического привода, и не устанавливали аварийные источники питания на лифты.

На сегодняшний день технологии позволяют уменьшить количество потребляемой ЭЭ в лифтах до 50% и повысить показатели надежности практически до абсолютного значения, к чему необходимо стремиться и проводить замену устаревших систем.

# СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ I — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА .....	5
Секция 1. Теоретические основы радиотехники .....	6
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов .....	20
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов .....	33
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн .....	45
Секция 5. Радиолокация и телевидение .....	59
Секция 6. Квантовая электроника .....	69
Секция 7. Радиосистемы навигации и связи .....	78
Секция 8. Фотоника .....	94
Секция 9. Промышленная электроника .....	102
Секция 10. Электроника и нанoeлектроника .....	138
Секция 11. Биомедицинская электроника .....	154
НАПРАВЛЕНИЕ II — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	178
Секция 12. Математическое моделирование .....	179
Секция 13. Прикладная математика .....	192
Секция 14. Вычислительная техника и САПР .....	225
Секция 15. Вычислительные машины, сети и системы .....	229
Секция 16. Управление и интеллектуальные технологии .....	249
Секция 17. Вычислительно-измерительные системы .....	285
Секция 18. Неразрушающий контроль и диагностика .....	302
НАПРАВЛЕНИЕ III — БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	321
Секция 19. Информационная и экономическая безопасность .....	322
Секция 20. Прикладная и бизнес-информатика .....	351
НАПРАВЛЕНИЕ IV — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ .....	361
Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии .....	362
Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов .....	391

Секция 23. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы . . . . .	407
Секция 24. Электрические и электронные аппараты . . . . .	415
Секция 25. Электропривод и автоматика . . . . .	446
Секция 26. Промышленные электротермические установки . . . . .	472
Секция 27. Электрический транспорт . . . . .	482
НАПРАВЛЕНИЕ V — ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ . . . . .	492
Секция 28. Техносферная безопасность . . . . .	493
НАПРАВЛЕНИЕ VI — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ . . . . .	527
Секция 29. Общие вопросы экономики . . . . .	528
Секция 30. Экономика промышленности . . . . .	541
Секция 31. Менеджмент . . . . .	565
НАПРАВЛЕНИЕ VII — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ . . . . .	611
Секция 32. Промышленная электроэнергетика . . . . .	612
Секция 33. Энергетика теплотехнологии . . . . .	641
Секция 34. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики . . . . .	660
Секция 35. Энергосбережение и промышленная экология . . . . .	673
Секция 36. Промышленные теплоэнергетические системы . . . . .	689
Секция 37. Электрохимическая и водородная энергетика . . . . .	714
Секция 38. Экономика энергетики . . . . .	731
НАПРАВЛЕНИЕ VIII — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА . . . . .	748
Секция 39. Атомные электрические станции и установки . . . . .	749
Секция 40. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии . . . . .	790
Секция 41. Теплофизика . . . . .	813
Секция 42. Техника и физика низких температур . . . . .	835
Секция 43. Нанотехнологии . . . . .	851
НАПРАВЛЕНИЕ IX — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА . . . . .	866
Секция 44. Котельные установки и охрана окружающей среды . . . . .	867
Секция 45. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС . . . . .	888

Секция 46. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций. . . . .	906
Секция 47. Контроль, автоматизация и управление в энергетике. . . . .	922
Секция 48. Теплотехника и малая распределенная энергетика . . . . .	961
НАПРАВЛЕНИЕ X — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ . . . . .	978
Секция 49. Энергетические установки и двигатели. . . . .	979
Секция 50. Проблемы технологии, надежности и конструирования . . . . .	994
Секция 51. Робототехнические и мехатронные системы . . . . .	1008
НАПРАВЛЕНИЕ XI — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА . . . . .	1022
Секция 52. Электроэнергетические системы. . . . .	1023
Секция 53. Электроснабжение . . . . .	1033
Секция 54. История энергетики . . . . .	1044
Секция 55. Электрические станции . . . . .	1052
Секция 56. Секция имени профессора Б.К. Максимова «Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов» . . . . .	1073
Секция 57. Теоретические основы электротехники . . . . .	1098
Секция 58. Техническое творчество студентов среднего профессионального образования. . . . .	1107
Секция 59. Электроэнергетика Средней Азии . . . . .	1110
Секция 60. Специальные вопросы электроэнергетики Восточной Европы . . . . .	1154
НАПРАВЛЕНИЕ XII — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ . . . . .	1191
Секция 61. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии . . . . .	1192
НАПРАВЛЕНИЕ XIII — ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН . . . . .	1222
Секция 62. Промышленный и медиа дизайн . . . . .	1223
НАПРАВЛЕНИЕ XIV — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ . . . . .	1234
Секция 63. Работа энергосистемы в условиях чрезвычайных ситуаций . . . . .	1235
Секция 64. Энергообеспечение специальных объектов . . . . .	1237
Секция 65. Электромеханические системы специальных объектов . . . . .	1242





*Научное издание*

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать седьмая Международная научно-техническая  
конференция студентов и аспирантов**

**Тезисы докладов**

Подписано в печать 01.03.2021 г. Формат 60 x 90/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 78.

Тираж 160 экз. Заказ № 070-02/21.

Оригинал-макет и полиграфические работы –  
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».

Тел.: (495) 252-7510.

<http://www.raduga-print.ru>

<http://www.radugaprint.ru>